

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL ANTONIO KARLING

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE APOIO ACADÊMICO:
UMA APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA RECOMENDAÇÃO DE
DISCIPLINAS**

PALOTINA

2018

DANIEL ANTONIO KARLING

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE APOIO ACADÊMICO:
UMA APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA RECOMENDAÇÃO DE
DISCIPLINAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Computação da Universidade Federal do Paraná como requisito para a obtenção do título Licenciado em Computação

Orientador: Prof. Me. Helio Henrique Lopes Costa
Monte Alto

Coorientadora: Prof. Dra. Eliana Santana Lisboa

PALOTINA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

DANIEL ANTONIO KARLING

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE APOIO ACADÊMICO: UMA APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA RECOMENDAÇÃO DE DISCIPLINAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Computação da Universidade Federal do Paraná como requisito à obtenção do título de Licenciado em Computação, e aprovado pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Me. Helio Henrique Lopes Costa Monte Alto
Setor Palotina, UFPR

Coorientadora: Prof. Dra. Eliana Santana Lisbôa
Setor Palotina, UFPR

Prof. Me. Ana Paula Ramão da Silva
Setor Palotina, UFPR

Prof. Me. Jéfer Benedett Dörr
Setor Palotina, UFPR

Prof. Me. Marcos Vinicius Oliveira de Assis
Setor Palotina, UFPR

Palotina, 06 de julho de 2018

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde, força e persistência para superar as dificuldades nesta trajetória.

À Universidade Federal do Paraná que oportunizou minha caminhada e desenvolvimento dos meus conhecimentos, minha confiança e ética.

Aos meus orientadores Helio Henrique Lopes Costa Monte Alto e Eliana Santana Lisbôa, por todo auxílio, suporte, correções e incentivos durante minha pesquisa.

A minha família, pelo apoio pessoal, amor e estímulo conferidos não somente durante minha caminhada acadêmica, mas sim toda minha vida.

A todos os docentes que contribuíram com meu enriquecimento pessoal e científico, em especial ao Professor Mestre Marcos Antonio Schreiner que, durante suas aulas, concebeu a premissa para a ideia de pesquisa aqui presente.

A discente Rafaela Augusto de Almeida que confeccionou as imagens utilizadas no *software* desenvolvido.

E a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte de minha formação, o meu imenso obrigado.

*“Estamos na situação de uma criancinha que entra em uma imensa biblioteca, repleta de livros em muitas línguas. A criança sabe que alguém deve ter escrito aqueles livros, mas não sabe como. Não compreende as línguas em que foram escritos. Tem uma pálida suspeita de que a disposição dos livros obedece a uma ordem misteriosa, mas não sabe qual ela é.
(Albert Einstein)*

RESUMO

Na Educação Superior é de fundamental importância que cada estudante analise suas dificuldades e a adequação de se cursar cada disciplina, em relação à sua situação particular no curso, ao efetuar sua matrícula. A fim de obter um bom aproveitamento e diminuir reprovações, devem ser considerados os pré-requisitos das disciplinas ofertadas, choques de horários e o tempo que será demandado para estudo extraclasse. Logo, percebe-se que cada decisão está inteiramente ligada a diversos fatores, o que torna a matrícula uma tarefa de difícil análise. Face a esta realidade, surgiu o interesse em desenvolver uma pesquisa no âmbito de Trabalho de Conclusão de Curso -TCC, do curso de Licenciatura em Computação, cujo objetivo é criar uma solução computacional para apoio acadêmico que possa apresentar uma sugestão apropriada de matrícula com base no desempenho do aluno e nas disciplinas restantes para a conclusão do curso. Averiguou-se, mediante aplicação de questionários, que há dificuldades durante o processo de matrícula por parte de alunos da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina. Apesar da instituição contar com o Programa de Orientação Acadêmica (POA), cuja finalidade é orientar o aluno em sua trajetória na universidade, assim como auxiliá-lo na seleção de disciplinas para cada semestre, torna-se inviável ações individuais e personalizadas, dado o grande número de estudantes em um curso. Sendo assim, o *software* proposto pode se tornar um contributo ao integrar-se ao POA e demais programas que visem auxiliar os estudantes. Para o desenvolvimento da solução computacional, utilizou-se a Lógica *Fuzzy*, devido a sua capacidade de operar em cenários imprecisos, e a programação lógica, para a inferência sobre bases de conhecimento relacionadas aos pré-requisitos das disciplinas. A partir dessas técnicas de Inteligência Artificial, foi desenvolvido o *software* denominado Athena - Sistema para Recomendação de Disciplinas. Para orientar a presente pesquisa, utilizou-se princípios da metodologia *Design-Based Research* (DBR), por abordar a investigação de um problema, além de desenvolver e avaliar uma solução computacional, com envolvimento ativo entre teoria e prática. Elencou-se, assim, a necessidade de validação do *software* concebido, realizada por especialistas da Computação, Pedagogia e coordenação de cursos. Além disso, aplicou-se um teste com alunos dos cursos de Licenciatura em Computação e Ciências Biológicas, utilizando-se o *software* Athena, constatando-se uma relação entre o desempenho do estudante e a recomendação oferecida durante a interação com o *software*, o que demonstrou a adequação dos resultados. Ademais, percebeu-se grande aprovação, por parte dos especialistas, quanto à relevância e qualidade da solução apresentada.

Palavras-chave: Lógica *Fuzzy*. Sistema de Recomendação. Apoio Acadêmico. Matrícula.

ABSTRACT

When enrolling in higher education it is of fundamental importance that each student analyzes its own difficulties and suitability of the disciplines for the term. The prerequisites of the offered disciplines, time-shocks and the time that will be demanded for extraclass study must be taken into account in order to obtain a good performance and avoid reproofs. Therefore, it is perceived that each decision is entirely linked to several factors, which makes the enrollment process a task of difficult analysis. In view of this reality, interest has arisen in developing a Undergraduate Thesis research, aiming to create a computational solution for academic support aiming to present an appropriate suggestion of enrollment based on the student's performance and on the remaining subjects course's completion. Through the application of questionnaires, it was verified that there are difficulties during the enrollment process by students of the Palotina's campus of UFPR. Although the institution has the Academic Guidance Program (AGP), whose purpose is to guide the students in their own university career and assist in the selection of subjects for each term, the personalized and individual actions are not feasible because of the large number of students in a course. Therefore, the proposed software can help in integrating with the AGP and other programs designed to help students. For the development of the computational solution, Fuzzy Logic was use in order to analyze variables like difficulty and importance, thanks to its ability to operate in imprecise scenarios, and the logical programming, for inferencing on the knowledge bases of disciplines' prerequisites. Based on AI techniques the software Athena - Subjects Recommender System - was developed. Principles of the Design-Based Research (DBR) methodology were used to guide the research, concerning the investigation of a problem, besides the computational solution development and evaluation, with active involvement between theory and practice. It was necessary to validate the developed software, with the help from experts of Computer Science, Pedagogy and course coordination. Moreover, a test was applied with students of the courses of Computer Science Education and Biology, using the software Athena, which allowed the observation of a relation between the student's performance and the recommendation obtained during the interaction with the software, which demonstrated the adequacy of the results. Finally, it was noticed the approval by the experts as to the relevance and quality of the presented solution.

Keywords: Fuzzy Logic. Recommender System. Academic Support. Enrollment.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL DIFICULDADE	21
FIGURA 2 – RESULTADOS DO CÁLCULO FIN	28
FIGURA 3 – DIAGRAMA DE BLOCOS DE LÓGICA <i>FUZZY</i>	29
FIGURA 4 – MAPA CONCEITUAL DA DISCIPLINA DE ALGORITMO E PROGRAMAÇÃO	31
FIGURA 5 – DIAGRAMA DE CASO DE USO: AMBIENTE DE CONSULTA	36
FIGURA 6 – DIAGRAMA DE CASO DE USO: AMBIENTE DE ADMINISTRAÇÃO	37
FIGURA 7 – ARQUITETURA DO SISTEMA ATHENA	40
FIGURA 8 – DIAGRAMA DE CLASSES DA BASE DE DADOS	41
FIGURA 9 – RECOMENDAÇÃO DE DISCIPLINAS PARA ALUNO DE LICENCIATURA EM COMPUTAÇÃO DA UFPR	42
FIGURA 10 – MÓDULO ESPECIALISTA	44
FIGURA 11 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL MÉDIA ARITMÉTICA	45
FIGURA 12 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL PORCENTAGEM DE APROVAÇÃO	46
FIGURA 13 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL QUANTIDADE CURSADA . . .	46
FIGURA 14 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL DIFICULDADE	47
FIGURA 15 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL REQUISITADA	48
FIGURA 16 – EXEMPLO DO CÁLCULO DA RECOMENDAÇÃO	49
FIGURA 17 – NÍVEL DE DIFICULDADE E DESEMPENHO DO ALUNO	50
FIGURA 18 – PÁGINA DE ADMINISTRAÇÃO	51
FIGURA 19 – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO INICIAL	53
FIGURA 20 – SIMILARIDADE DA RECOMENDAÇÃO E ESCOLHA REAL POR NÚMERO DE REPROVAÇÃO	55
FIGURA 21 – ANÁLISE DA RECOMENDAÇÃO	57
FIGURA 22 – CONCORDÂNCIA SOBRE A RECOMENDAÇÃO	57
FIGURA 23 – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO SOBRE O AMBIENTE DE CONSULTA .	59
FIGURA 24 – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO SOBRE O AMBIENTE DE ADMINIS- TRAÇÃO	61

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – SIMILARIDADE DA RECOMENDAÇÃO E ESCOLHA REAL POR NÚMERO DE REPROVAÇÃO	56
--	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – REGRAS PARA CÁLCULO DA DIFICULDADE	47
TABELA 2 – REGRAS PARA CÁLCULO DA IMPORTÂNCIA	48

SUMÁRIO

1	–	INTRODUÇÃO	14
1.1		OBJETIVOS	15
1.1.1		Objetivo Geral	15
1.1.2		Objetivos Específicos	15
1.2		JUSTIFICATIVA	15
2	–	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1		SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO E DE RECOMENDAÇÃO	18
2.2		TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	19
2.3		LÓGICA <i>FUZZY</i>	20
2.4		SISTEMA ESPECIALISTA EM PROLOG	22
2.5		ESTUDOS RELACIONADOS	23
3	–	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
3.1		METODOLOGIA	33
3.2		DESENHO DO ESTUDO	34
3.3		AMOSTRA	35
3.4		INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	35
3.5		TÉCNICA DE ANÁLISE DE DADOS	35
4	–	DESENVOLVIMENTO	36
4.1		ARQUITETURA DO SISTEMA	39
4.1.1		Arquitetura do Módulo Especialista	42
4.1.2		Extensão do Sistema	49
5	–	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1		QUESTIONÁRIO INICIAL	52
5.2		QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO <i>SOFTWARE</i>	54
5.3		VALIDAÇÃO POR PERITOS	58
5.3.1		Avaliação do Ambiente de Consulta	58
5.3.2		Avaliação do Ambiente de Administração	60
6	–	CONCLUSÃO	63
		REFERÊNCIAS	64
		APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS	69
A.1		Questionário Inicial: Matrículas na Universidade	69
A.2		Questionário de Avaliação do <i>software</i>	71
A.3		Avaliação dos Especialistas: Ambiente de Consulta	73
A.4		Avaliação dos Especialistas: Ambiente de Administração	76

1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas que atingem instituições no ensino superior é a evasão estudantil. Este fenômeno pode ocorrer por diversos motivos, como insatisfação ou falta de identificação com o curso, dificuldade na realização das atividades ou mal planejamento dos estudos. Alguns destes motivos podem acarretar na reprovação em disciplinas ou em um rendimento abaixo do esperado. Pelo fato de ser caracterizado por um ambiente de maior autonomia, na universidade os estudantes devem tomar algumas decisões como, por exemplo, a possibilidade de realizar projetos de pesquisa em determinada área, escolher algumas disciplinas dentre um grupo de optativas, entre outras. São responsáveis, também, por designar quais disciplinas farão parte de sua grade curricular atual, podendo seguir a proposta do curso ou realizar uma escolha segundo suas próprias perspectivas.

O processo de rematrícula consiste na escolha de quais as disciplinas determinado aluno irá cursar no período subsequente, contendo vários fatores que podem deixá-lo indeciso ou até mesmo inviabilizar alguma decisão. Mediante observação, foram identificadas dificuldades por parte dos alunos, principalmente dos que buscam um bom aproveitamento, a fim de realizarem uma decisão satisfatória e viável. Uma escolha errada ou sem orientação pode acarretar em reprovações ou trancamento de alguma disciplina. Sendo assim, um modo de auxiliar os estudantes através da análise de seu histórico e complexidade entre as possíveis escolhas poderia lhes proporcionar um melhor rendimento.

Alguns programas de apoio, como o Programa de Orientação Acadêmico (POA) da Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina, objetivam orientar os estudantes a fim de reduzir a evasão e retenção. Dentre suas atribuições, o POA objetiva auxiliar os discentes na matrícula e seleção de disciplinas para cada semestre. Entretanto, realizar esta tarefa para diversos alunos demandaria muito tempo, uma vez que a orientação deve ser personalizada. Logo, torna-se viável a utilização de tecnologias computacionais para auxiliar nesse processo.

No meio acadêmico existem diversas áreas em que são utilizadas tecnologias computacionais como instrumentos de apoio. Alguns sistemas podem ser utilizados para auxiliar em determinadas escolhas, principalmente quando estão atreladas a diversas variáveis. A rematrícula se enquadra em um cenário complexo, pois requer o conhecimento sobre as disciplinas do curso e sobre o rendimento do aluno. Sendo assim, seria necessário estimar-se a dificuldade que o estudante apresenta nos diversos segmentos do curso, além de verificar a prioridade entre as suas escolhas. Algumas tecnologias que podem contribuir nessa tarefa são os Sistemas de Apoio à Decisão e os Sistemas de Recomendação.

Sistemas de Apoio à Decisão são utilizados em escolhas amplas e na estruturação de problemas, por meio da análise de informações e consultas baseadas em regras (DRUZDZEL; FLYNN, 1999). Já os Sistemas de Recomendação são utilizados diante da necessidade de se analisar o usuário, seus interesses e individualidades, a fim de mostrar-lhe um conteúdo específico (SCHAFFER; KONSTAN; RIEDL, 1999). Algumas técnicas de Inteligência Artificial podem ser utilizadas em um Sistema de Apoio à Decisão ou em um Sistema de Recomendação,

destacando-se as Redes de Crenças e a Lógica *Fuzzy*, sendo a primeira baseada na teoria da probabilidade de Bayes e a segunda na pertinência de um elemento em conjuntos difusos ou nebulosos. Tais sistemas são normalmente baseados em conhecimento, pois apresentam a capacidade de raciocinar acerca de suas possíveis ações por meio de uma base de conhecimento e um mecanismo de inferência (ABEL; CASTILHO, 1996).

A Lógica *Fuzzy* permite trabalhar em ambientes imprecisos e com algum grau de incerteza, aproximando-se do cenário analisado nesta pesquisa: estimar a dificuldade do estudante e as prioridades entre as disciplinas. Desta forma, este trabalho propõe-se a desenvolver um *software*, intitulado Athena: Sistema de Recomendação de Disciplinas, tendo como princípio norteador as dificuldades, por parte dos alunos, identificadas no âmbito da rematrícula na universidade. Athena utiliza Lógica *Fuzzy* e Programação Lógica para possibilitar a análise do histórico do aluno e da matriz curricular de seu curso, proporcionando a projeção de um índice de aptidão do estudante junto à importância de cada disciplina, analisando-se as dependências entre elas, com o propósito de listá-las segundo um grau de recomendação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um Sistema de Apoio Acadêmico que apresente ao estudante uma sugestão apropriada de matrícula, baseada em seu desempenho acadêmico e na estrutura das disciplinas do seu respectivo curso.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar a necessidade de orientação ao acadêmico na etapa de rematrícula nas disciplinas de graduação;
- Identificar as principais dificuldades no âmbito da rematrícula na universidade;
- Verificar os obstáculos que podem levar o aluno a uma escolha pouco apropriada das disciplinas para sua matrícula;
- Desenvolver um sistema apto a analisar o desempenho do aluno no curso, bem como verificar a importância das disciplinas em que este pode se matricular, a fim de recomendar as mais apropriadas;
- Criar um sistema de cadastro de cursos, respeitando os pré-requisitos das disciplinas e que seja capaz de importar o histórico acadêmico dos alunos, por meio de uma plataforma *Web*.

1.2 JUSTIFICATIVA

A evasão estudantil é um problema que atinge as instituições de ensino superior, caracterizando-se por um desperdício social, acadêmico e econômico (FILHO et al., 2007).

Diversos motivos podem ser elencados como contribuintes para este fenômeno, destacando-se a insatisfação do aluno com o tutor, dificuldade perante a complexidade das atividades, falha na elaboração do curso e pouco tempo na realização dos estudos (BITTENCOURT; MERCADO, 2014), além da falta de identificação do estudante com o grupo de estudo ou curso (TINTO, 1975 apud BITTENCOURT; MERCADO, 2014). Segundo Filho et al. (2007), entre 2000 e 2005 a evasão anual em institutos de ensino superior no Brasil foi de 22%, sendo duas ou três vezes maior durante o primeiro ano do curso do que nos demais. Entre os alunos evadidos, encontra-se uma alta ocorrência de reprovação em alguma disciplina, apontando que o abandono na universidade pode ser consequência de adversidades encontradas durante o curso (CUNHA; TUNES; SILVA, 2001 apud MOROSINI et al., 2011).

Existem programas que buscam auxiliar o aluno em problemas que possam aparecer em sua trajetória acadêmica, tais como o Programa de Orientação Acadêmico (POA), da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina. Este visa orientar os estudantes de graduação e educação profissional a fim de superarem obstáculos no processo de ensino, reduzindo a evasão e retenção (UFPR, s/d). Segundo o Colegiado do Curso de Licenciatura em Computação da UFPR - Setor Palotina (UFPR, 2016), são competências dos docentes orientadores auxiliar os discentes na matrícula e seleção de disciplinas para cada semestre, além de acompanhar seu desempenho durante toda a sua trajetória na universidade. A partir de tal orientação, procura-se desenvolver a autonomia e o protagonismo dos estudantes na busca por soluções para os desafios no meio universitário.

A rematrícula abrange uma série de decisões a serem tomadas por parte do aluno. Em alguns casos, por exemplo, ele deve escolher entre matricular-se em uma disciplina em que já ficou retido ou na de semestres posteriores, além de considerar os pré-requisitos e choques de horário. Em uma pesquisa realizada na UFPR - Setor Palotina, mediante questionário (Apêndice A.1), foi constatada a procura por auxílio durante o processo de rematrícula. Dentre os entrevistados, apenas 18,5% afirmaram que nunca necessitaram de apoio enquanto 44,4% não procuraram ajuda, apesar de possuírem necessidade, e os 37% restante afirmaram já ter procurado tal apoio. Além disso, pouco mais da metade (51,9%) afirmou ter se arrependido na escolha por cursar ou não alguma disciplina, enquanto os que se depararam com alguma incerteza (77,8%) declararam que tal fato se deve à desperiodização, em alguns casos proveniente de reprovações, ou não conhecimento dos pré-requisitos. Já ao questionar acerca da importância de se pensar em uma alternativa como auxílio durante a rematrícula, obteve-se 92,6% de respostas afirmativas. Tais dados são apresentados na Seção 5, na página 52.

Portanto, o desenvolvimento da ferramenta computacional Athena poderá ser de grande utilidade ao oferecer seleção de disciplinas recomendadas à matrícula, facilitando a análise das diversas variáveis e servindo como dispositivo de assessoria no serviço de apoio acadêmico. O *software* deve prover informações suficientes para apoiar o estudante em sua decisão, como conflitos de horários, estimativa de horas de estudo extraclasse, porcentagem

de recomendação e nível de dificuldade em cada categoria¹ que subdivide seu curso. Para tal, escolheu-se aplicar Lógica *Fuzzy* devido a sua capacidade de lidar com cenários incertos. Utilizando o sistema Athena, o aluno poderá realizar sua escolha baseando-se nos resultados obtidos e, a médio ou longo prazo, espera-se uma diminuição na reprovação e desistência em disciplinas.

¹Define-se como categorias grupos de disciplinas que se assemelham em conteúdo e diferem de outras dos demais grupos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A fim de fundamentar o estudo, foi feita uma revisão de literatura sobre: Sistemas de Recomendação e Apoio à Decisão (Seção 2.1); a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel, como teoria subjacente mais adequada quanto à organização das disciplinas segundo uma ordem lógica e hierárquica (Seção 2.2); a Lógica *Fuzzy* para projetar parâmetros qualitativos como a dificuldade do aluno, importância e recomendação das disciplinas (Seção 2.3); o Sistema Especialista em Prolog¹, responsável pela representação do conhecimento acerca de cada curso cadastrado (Seção 2.4); e estudos relacionados (Seção 2.5).

2.1 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO E DE RECOMENDAÇÃO

A tomada de decisão é uma tarefa complexa quando atrelada a uma grande quantidade de variáveis. Qualquer informação não considerada ou mal avaliada pode acarretar em um resultado errôneo. A tomada de decisão requer verificação do ambiente em que se enquadra e isso pode trazer dificuldades para um método analítico quantitativo.

Do ponto de vista de um modelo para tomada de decisão, como apontam Druzdzel e Flynn (1999), devem ser considerados três componentes: (i) uma medida de preferência relativa aos objetivos de decisão; (ii) opções de decisões disponíveis; (iii) e uma medida de incerteza sobre as variáveis influentes na decisão. As preferências representam a principal característica do Sistema de Apoio à Decisão, sendo comumente representadas por um conjunto numérico. Entretanto, seu elemento inerente é a incerteza proveniente da incompletude da informação, sendo esta aproximada a modelos que objetivam simplificá-la.

Sistemas de Apoio à Decisão são valiosos quando a quantidade de informação impossibilita a tomada de decisão realizada apenas por um agente humano. São sistemas computacionais utilizados para apoiar decisões amplas, auxiliando na análise, identificando oportunidades e estruturando problemas. Para seu desenvolvimento, é necessária a existência de informação adequada, completa e consistente, armazenada em um repositório que possibilite a consulta (DRUZDZEL; FLYNN, 1999).

Sistemas de Recomendação são utilizados em tarefas em que há a necessidade de analisar o utilizador, a fim de mostrar um conteúdo baseado em seus interesses, objetivando uma maior eficácia no processo de indicação. Tal sistema utiliza a identificação do respectivo usuário e armazenamento das suas preferências, possibilitando, assim, a recomendação de itens de acordo com suas necessidades e/ou interesses (SCHAFER; KONSTAN; RIEDL, 1999) e apresenta como característica peculiar a presença de um mecanismo de filtragem e coleta de informação.

A técnica de filtragem, como afirmam Drumond, Lindoso e Girardi (2006), contempla três etapas: (i) a criação de um modelo do usuário segundo suas preferências; (ii) a criação de representação da informação; e (iii) a comparação entre o modelo do usuário e as informações

¹Disponível em: <<http://www.swi-prolog.org>>

adquiridas. Resnick e Varian (1997) apresentam a expressão “filtragem colaborativa”², designando um tipo de sistema em que a filtragem era realizada com o auxílio humano. Foi o início da expressão “Sistemas de Recomendação”, conceituando a técnica para análise de preferências de um ou de diversos grupos de usuários.

A filtragem por conteúdo é uma das técnicas mais amplamente utilizadas, e consiste na análise de informações anteriores do usuário a fim de realizar uma recomendação baseada na similaridade. Já a técnica de filtragem híbrida visa unir as vantagens da filtragem colaborativa e por conteúdo, perante análise individual do passado dos usuários e geração de recomendação por diversas abordagens simultâneas (CAZELLA; NUNES; REATEGUI, 2010).

Ambos os sistemas, tando os de Apoio à Decisão quanto os de Recomendação, utilizam técnicas para análise de informações do usuário e/ou preferências, e objetivam o auxílio na tomada de decisão. Tais sistemas podem ser baseados em conhecimento e capazes de raciocinar a respeito das suas possíveis ações, tornando assim necessário uma Base de Conhecimento e um Mecanismo de Inferência (ABEL; CASTILHO, 1996), sendo o primeiro responsável pela representação das informações e o segundo por inferir soluções. Estas são características peculiares de Sistemas Especialistas, assunto abordado na Seção 2.4.

2.2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Ausubel (1963) explica que a estrutura cognitiva é organizada de maneira hierárquica, contendo, no topo da hierarquia, as ideias de maior poder explicativo, ou mais inclusivas, que assimilam as menos inclusivas com informações mais detalhadas e específicas. Tal processo ficou conhecido como Diferenciação Progressiva. Assim, é necessária a finalização de um conteúdo anterior para se introduzir um novo, relacionando-os de maneira lógica.

A Aprendizagem Significativa requer esforço ao conectar, de maneira não arbitrária na estrutura cognitiva, os conteúdos prévios aos novos, sendo necessária uma organização lógica entre os mesmos. Deste modo, a nova informação interage e é assimilada nos conceitos relevantes (também chamados de Conceitos Subsunoeres ou Ideias Âncora) existentes na estrutura cognitiva. Como explica Ausubel (2003):

A teoria explica a forma como se relacionam de modo seletivo, na fase de aprendizagem, novas ideias potencialmente significativas do material de instrução com ideias relevantes, e, também, mais gerais e inclusivas (bem como mais estáveis), existentes (ancoradas) na estrutura cognitiva. Estas ideias novas interagem com as ideias relevantes ancoradas e o produto principal desta interação torna-se, para o aprendiz, o significado das ideias de instrução acabadas de se introduzir. Estes novos significados emergentes são, depois, armazenados (ligados) e organizados no intervalo de retenção (memória) com as ideias ancoradas correspondentes (AUSUBEL, 2003, p. 8).

²Exibida inicialmente por David Goldberg, David Nichols, Brian M. Oki e Douglas Terry, desenvolvedores do primeiro Sistema de Recomendação (RESNICK; VARIAN, 1997, p. 66).

Conforme os estudos de Ausubel (2003 apud TAVARES, 2004), existem três requisitos essenciais para a Aprendizagem Significativa: (i) a oferta de um novo conhecimento organizado de uma maneira lógica; (ii) a existência de conhecimento prévio, possibilitando sua conexão com os novos; e (iii) a atitude explícita de apreender e conectar um conteúdo anterior àquele que pretende-se absorver, isto é, enunciar a necessidade de conceitos prévios e o propósito de realizar interligações com o novo conhecimento.

A aplicação da Teoria da Aprendizagem Significativa na sala de aula baseia-se em dois princípios: (i) as ideias mais gerais devem ser apresentadas em um primeiro momento, sendo posterior e progressivamente diferenciadas em termos de maior detalhamento e especificidade; e (ii) as unidades programáticas devem oferecer integração dos novos conteúdos com uma prévia informação introdutória, utilizando comparações e referências entre os conteúdos novos e os já existentes (PRAIA, 2000).

Partindo desse pressuposto, acredita-se que a teoria subjacente mais adequada ao sistema desenvolvido é a Teoria da Aprendizagem Significativa, visto esta corroborada por Faria (1989), que defende a verificação dos pré-requisitos, estruturando os itens curriculares julgados mais importantes, devendo ser respeitados pelos alunos a fim de que possam ter uma aprendizagem significativa. Uma disciplina deve ser esquematizada de modo que os organizadores prévios³ sejam montados em função dos pré-requisitos, necessários à continuação do curso.

2.3 LÓGICA FUZZY

A Lógica *Fuzzy*⁴ permite uma representação multivalorada, ou seja, os valores lógicos podem assumir qualquer número real entre 0 e 1, chamada grau de pertinência, diferenciando-se da lógica *booleana*, na qual os mesmos podem ser, exclusivamente, 0 ou 1. As variáveis utilizadas são conhecidas como variáveis linguísticas, que se caracterizam como não numéricas, representadas geralmente por adjetivos (e.g. “alto”, “médio”, “baixo”). Entretanto, tal representação leva a uma interpretação vaga e, por isso, utiliza o grau de pertinência, calculado por meio de uma função matemática específica: a função de pertinência.

O grau de pertinência representa o quanto um determinado objeto satisfaz a descrição de um conjunto específico, como, por exemplo, o quão alta determinada pessoa é. Isso possibilita lidar com verdades parciais através de funções matemáticas, tendo como principal aplicação fornecer uma maneira sistemática de aproximação de fenômenos complexos ou mal definidos, facilitando a criação de regras (GONÇALVES, 2007).

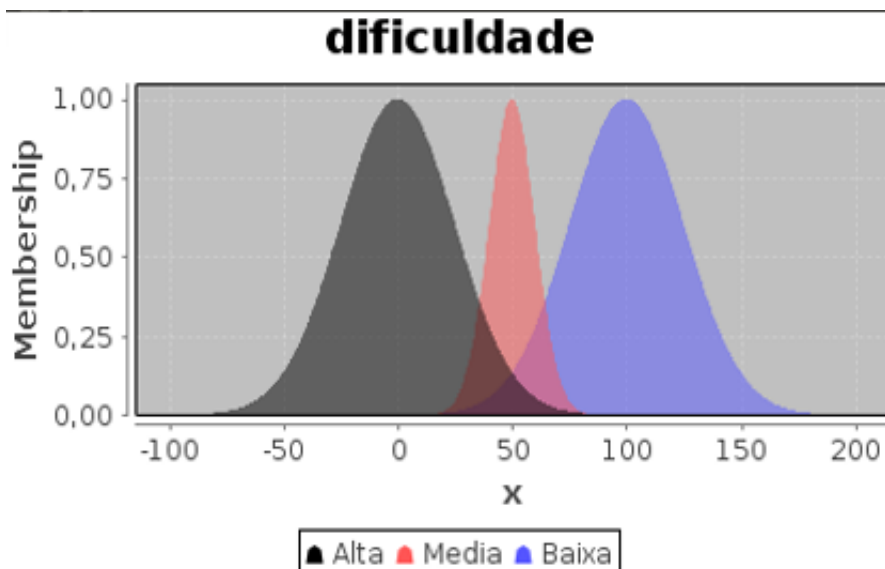
Segundo Zadeh (1997), a Lógica *Fuzzy* é baseada em regras que representam classes utilizando variáveis linguísticas, mesmo na presença de informações ambíguas. Seu conceito fundamental é que um elemento pode ser membro de vários conjuntos com graus de pertinência

³Organizadores prévios são recursos instrucionais que visam facilitar a aprendizagem significativa, servindo como pontes cognitivas entre conhecimentos novos e já existentes.

⁴Também conhecida por lógica difusa ou nebulosa.

diferentes. Por exemplo, a função de pertinência apresentada na Figura 1 mostra como a variável linguística *Dificuldade* pode pertencer a mais de um dos conjuntos *Alta*, *Media* e *Baixa*, perceptível pela intersecção entre eles.

FIGURA 1 – FUNÇÃO PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL DIFICULDADE



FONTE: Imagem do autor

Formalmente, se definirmos como U uma coleção de objetos designada genericamente por $\{u\}$, U é chamado Universo de Discurso, seja este contínuo ou discreto. Um conjunto Fuzzy F em U é uma coleção de resultados estabelecidos por uma função de pertinência μ_A :

$$\mu_A : U \rightarrow [0,1]$$

Assim, μ_A pode resultar um valor numérico entre 0 (zero) e 1 (um), incluindo os mesmos. Em seguida, realiza-se as inferências com base nas regras de produção escritas, avaliando-se o antecedente e aplicando-se o resultado no consequente:

Se x é Alto, então y é Verdadeiro

Com o grau de pertinência de x pode-se calcular o quão verdadeiro é y . Se existem várias variáveis na parte antecedente, deve ser avaliado o grau de pertinência de todas, respeitando os conectivos utilizados: caso utilize-se o conectivo E, usa-se o método de combinação, desde que o resultado seja, no máximo, o valor mínimo entre o grau de pertinência de todas as variáveis; caso o conectivo utilizado seja o OU, deve-se obter um valor, no mínimo, igual ao maior grau.

Após a aplicação das regras é realizada a etapa de *defuzzificação*, responsável por apresentar um resultado numérico. O método mais conhecido é o Centro de Gravidade (COG - *Center of Gravity*), ou Centro de Massa, que obtém um ponto no conjunto onde um eixo

vertical corta-o ao centro, calculando-se a área do grau de pertinência e, posteriormente, realizando-se uma média ponderada dos pontos e suas áreas:

$$COG = \frac{\sum_{x=a}^b \mu(x) \times x}{\sum_{x=a}^b \mu(x)}$$

Assumindo $\mu(x)$ como a área de função de pertinência e x a posição do centroide que varia de a até b , obtém-se, assim, um resultado numérico baseado em todos os graus de pertinência das respectivas variáveis de entrada.

A Lógica *Fuzzy* objetiva modelar modos de raciocínio em ambientes incertos e imprecisos, sendo extremamente recomendada para problemas que apresentam determinado grau de incerteza, uma vez que é capaz de integrar a imprecisão de eventos reais e o poder de processamento dos computadores, proporcionando resultados inteligentes (COX, 1994). Nesta mesma linha de pensamento temos o contributo de Zadeh (1965), que enfatiza que a presença da incerteza nos processos que regem o pensamento do ser humano sugerem que a lógica por trás do raciocínio não é a tradicional, mas uma lógica com verdades, conectivos e regras difusas.

Ao modelar a dificuldade de um estudante em alguma área do curso, ou a importância de uma disciplina perante todas as demais, é possível que se obtenha um ambiente incerto e impreciso, dotado de verdades parciais que não podem ser classificadas de maneira binária. O grau de pertinência da Lógica *Fuzzy* é o que mais se aproxima de uma projeção coerente no cenário citado, o que justifica sua utilização na tentativa de mensurar fatores qualitativos, tais como dificuldade e importância.

2.4 SISTEMA ESPECIALISTA EM PROLOG

Sistemas Especialistas são aplicações computacionais que buscam solucionar algum tipo de problema específico, representando o conhecimento de um especialista humano por meio de uma representação formal, a fim de gerar uma base de dados com a qual o computador possa interagir (BUCHANAN et al., 1983).

Para tanto, um Sistema Especialista deve conter:

- Base de Conhecimento: representação declarativa do conhecimento, geralmente representada por regras de produção (regras na forma de *If Then*);
- Base de Fatos ou Memória de Trabalho: base de dados criada durante a interação com o sistema, sendo volátil e carregada com informações que o sistema recebe do meio externo;
- Motor de Inferências: o código central do sistema, responsável por inferir soluções baseadas nas Bases de Conhecimento e de Fato;
- Interface: ambiente que controla o diálogo entre o sistema e o usuário.

A interação do usuário com um Sistema Especialista possibilita que o primeiro obtenha informações de difícil análise, baseadas na inferência das regras sobre as informações contidas na Base de Conhecimento. Para a criação de um sistema, destacamos a utilização da linguagem de programação Prolog.

O Prolog permite expressividade mediante programação baseada em regras, proporcionando um código escrito de maneira declarativa, o que possibilita implementar vários tipos de Sistemas Especialistas de uma maneira padronizada (MERRITT, 2000). O Motor de Inferência do Prolog pode ser usado na implementação parcial do Sistema Especialista, derivando conclusões a partir das regras utilizadas na representação do conhecimento.

As regras para um Sistema Especialista em Prolog são escritas segundo regras de produção (MERRITT, 2000):

```
SE
    primeira premissa, e
    segunda premissa, e
    ...
ENTÃO
    conclusão
```

Um Sistema Especialista escrito em Prolog é capaz de gerar uma Base de Fatos durante cada interação, utilizando o predicado nativo do Prolog 'assert()', responsável por vincular informações à Memória de Trabalho. Essas são aceitas como verdadeiras durante a interação corrente com o sistema, e são utilizadas pelo Motor de Inferência a fim de encontrar conclusões que apresentem premissas verdadeiras. Já a Base de Conhecimento apresenta uma estrutura padronizada na sua codificação, o que possibilita sua criação automática na interação com outra linguagem de programação.

2.5 ESTUDOS RELACIONADOS

A fim de adquirirmos ideias para o desenvolvimento e verificarmos as oportunidades e o grau de contribuição desta pesquisa, foram levantados estudos sobre classificação de desempenho de estudantes e do corpo acadêmico, avaliação em ambientes virtuais e criação de Sistemas Tutores Inteligentes que utilizem teorias abordadas no presente trabalho. Deste modo, os parágrafos que se seguem apresentam, em uma ordem cronológica e agrupados por similaridade, trabalhos que abordam o uso da Lógica *Fuzzy* em contextos educacionais e da Teoria da Aprendizagem Significativa, oferecendo informações a partir das conclusões expostas por cada autor.

O estudo de Law (1996) propõe a construção de um modelo para um sistema de classificação educacional utilizando um algoritmo baseado em Lógica *Fuzzy*. Tal sistema tem o propósito de auxiliar os professores, agregando resultados diferenciados obtidos a partir dos testes aplicados e fornecendo uma nota aos alunos.

São destacadas, então, três principais razões para a utilização da teoria dos conjuntos difusos, ou conjuntos *Fuzzy*, no desenvolvimento de um sistema de classificação educacional: (i) o fato da nota atribuída ao aluno não ser precisa, estando entre uma pontuação e outra e contendo um valor de erro; (ii) as pontuações de diferentes questões serem vagas; e (iii) a maior familiaridade com um sistema de classificação que utiliza variáveis linguísticas como classificação. Assim, como melhor detalha Law (1996):

Existem três razões principais para o uso da teoria dos conjuntos difusos no sistema de classificação educacional: (a) É conhecido que os escores para os indivíduos flutuam um pouco de uma ocasião para a outra. Isso significa que os escores observados para caracterizar os alunos não são muito precisos. Além disso, acredita-se que uma pontuação observada é composta por um escore verdadeiro e uma pontuação de erro. Consequentemente, os resultados observados de estudantes são dados vagos. (b) Da mesma forma, as pontuações de diferentes questões em um exame também são dados vagos. Portanto, é melhor usar a teoria dos conjuntos difusos para agregar pontuações de diferentes questões, a fim de produzir uma única pontuação ou nota para um exame. (c) O sistema de classificação mais utilizado é o uso de uma nota de letra única (*A, B, C, D ou F*) para descrever o desempenho de um aluno. Isso sugere que os sistemas de classificação educacionais mais comuns usam variável linguística para se comunicar com pessoas. Assim, é adequado usar a teoria do conjunto difuso no sistema de classificação educacional (LAW, 1996, p. 312).⁵

Utilizando uma função de pertinência, pode-se encontrar uma porcentagem ideal para uma classificação (*A, B, C, D e F*). Law (1996) realiza uma comparação entre o sistema de classificação tradicional e o sistema de classificação educacional difuso, onde são destacadas as vantagens de se utilizar o segundo.

Há várias maneiras de classificar o desempenho de um aluno em um teste ou curso, porém, frequentemente ocorre o fato do professor não ser neutro entre um aluno e outro. Além disso, é comum dar notas aos alunos baseando seu desempenho em um grupo de referência. Entretanto, existe o problema de decidir qual será o grupo de referência.

As decisões sobre aprovar ou reprovar um aluno em um curso são tarefas realizadas individualmente e em particular, e com o uso de conjuntos difusos pode-se “predeterminar a porcentagem ideal de ‘passar’ ou ‘falhar’ em um curso e usar o sistema de classificação educacional difuso para nos ajudar a tomar decisões sobre quem irá ‘passar’ ou ‘falhar’” (LAW, 1996, p. 318). A abordagem pode, inclusive, ser aplicada a um grupo de alunos, possibilitando que um professor tome decisões a respeito da necessidade de revisar um conteúdo para todo o grupo.

Nolan (1998) apresenta um método de pontuação e correção de respostas narrativas de estudantes estruturado em cima do programa chamado de *Curriculum Frameworks* desenvolvido pela *New York City School District*. Esse programa foi utilizado no teste de *Performance Assessment in Language Arts* (PAL) a fim de mensurar a leitura e escrita dos alunos. O teste propõe que os estudantes criem respostas discursivas e individuais a respeito de uma

⁵Tradução livre do autor

história e um poema apresentados, de modo que as respostas sejam avaliadas por professores treinados quanto à aplicação das notas segundo as rubricas. Estas rubricas descreviam o quanto o estudante respondeu corretamente à questão mensurando sua compreensão de leitura e de escrita. Entretanto, havia problemas quanto à correção destes testes:

Os professores são treinados para seguir uma rubrica de pontuação que lhes pede para agrupar a resposta do aluno em uma das três categorias gerais - alta, média ou baixo. Depois disso, eles devem atribuir um escore numérico usando as diretrizes específicas estabelecidas para cada nível de pontuação (...) mas não há nenhuma maneira de provar que um professor particular que classifica o teste de PAL de 4ª série da NYC está aplicando as rubricas de pontuação exatamente da mesma maneira em cada vez. Fadiga e uma miríade de outros fatores pessoais podem afetar a consistência (NOLAN, 1998, p. 66).

Classificar a escrita de estudantes envolve informações imprecisas e ambíguas, o que necessita de uma lógica capaz de realizar a classificação frente a essa imprecisão. O próprio teste PAL utiliza variáveis linguísticas como rubricas e, segundo o autor, um Sistema Especialista *Fuzzy* de classificação poderia ponderar corretamente o nível de compreensão dos alunos. Através de tal sistema, a pontuação por meio de rubricas seria aplicada da mesma forma para cada aluno, tornando este um processo justo, eficiente e evitando que se torne passivo de perspectivas diferentes, como explicado por Nolan (1998):

Por exemplo, diferentes professores têm diferentes definições do que é um nível médio de entendimento na compreensão de leitura. Na verdade, a maioria dos professores concordaria que nenhum valor único define a categoria perfeitamente. (...) 'Médio' pode ser aplicado a uma gama de respostas totais corretas, sendo cada número no intervalo entre 'mais médio' e 'menos médio' relacionado a um valor típico ou ideal (NOLAN, 1998, p. 3).

No trabalho apresentado, o sistema resultante utiliza 21 funções de pertinências para os conjuntos *Fuzzy*, que representam as características das variáveis, e a base de regras consiste em 200 regras. Para testar o sistema, foram selecionadas duas escolas da cidade de Nova York. Os professores selecionados para participar do teste eram professores da 4ª série, todos devidamente treinados para que entendessem como usar o sistema de pontuação de classificação *Fuzzy*.

Todos os testes de PAL de 4ª série, preenchidos pelos alunos das duas escolas, foram classificados dessa maneira e, durante um período de 1 mês, foram avaliadas 255 amostras de escrita de estudantes. No final desse período, as escolas revisaram os exames obtidos com o sistema especialista de classificação *Fuzzy*, e concordaram unanimemente que os resultados da pontuação demonstraram o uso consistente das rubricas projetadas para ponderar o teste (NOLAN, 1998, p 9). Os professores que usaram o sistema ressaltaram o ganho obtido devido à velocidade com que foram capazes de avaliar as amostras de escrita.

Um experimento controlado foi realizado para determinar quão efetiva é a avaliação utilizando o sistema especialista de classificação *Fuzzy*. Duzentos testes foram selecionados,

enquanto três professores especialistas revisaram cada um destes testes usando as rubricas de pontuação. Os mesmos duzentos testes foram revisados por outros três professores, utilizando o sistema especialista de classificação *Fuzzy*. Aceitando-se o fato que dois professores podem discordar a respeito da pontuação atribuída a uma mesma resposta de um mesmo aluno, 97% dos casos podem ser considerados como estando em acordo nas duas etapas de revisão.

O trabalho de Biswas (1995) apresenta uma aplicação bem sucedida dos conjuntos difusos, mostrando que a incerteza está sempre presente no procedimento de julgamento, mas em uma forma diluída, e afirma que “uma solução potencialmente frutífera para o problema de descobrir um melhor método de avaliação não é senão uma abordagem difusa” (BISWAS, 1995, p. 188). O paradigma apresentado pelo autor é uma confluência da teoria dos conjuntos difusos e é potencialmente mais fino do que o método de avaliação existente: o sistema de classificação e o sistema de marcação tradicional. A forma de avaliação apresentada é abreviada como *fern* (*Fuzzy evaluation method*) e, segundo o autor, pode ser aplicado em testes de aptidão, procedimentos de recrutamento, revisão/promoção profissional, certificações baseadas em habilidades e aprendizagem experimental.

O método de avaliação utiliza um vetor de seis dimensões, preenchido pelas respostas de cada questão, de modo que cada vetor pode ser classificado com uma das seguintes variáveis linguísticas: *excellent*; *very good*; *good*; *satisfactory*; *unsatisfactory* (BISWAS, 1995), como é listado a seguir:

- E (*excellent*) = $\{0/0, 0/20, 0.8/40, 0.9/60, 1/80, 1/100\}$;
- V (*very good*) = $\{0/0, 0/20, 0.8/40, 0.9/60, 0.9/80, 0.8/100\}$;
- G (*good*) = $\{0/0, 0.1/20, 0.8/40, 0.9/60, 0.4/80, 0.2/100\}$,
- S (*satisfactory*) = $\{0.4/0, 0.4/20, 0.9/40, 0.6/60, 0.2/80, 0/100\}$,
- U (*unsatisfactory*) = $\{1/0, 1/20, 0.4/40, 0.2/60, 0/80, 0/100\}$

Por fim, pode-se criar uma tabela para classificação de um teste, na qual será inserido um vetor por questão respondida, a fim de se calcular a nota final que representará a compreensão do estudante.

Chen e Lee (1999) estendem o trabalho de Biswas (1995) prometendo superar algumas operações complicadas de correspondência por meio da avaliação dos resultados dos alunos de maneira mais justa.

As desvantagens citadas por Chen e Lee (1999) referem-se à grande quantidade de tempo utilizado na execução para medir os graus de similaridade padrão entre os conjuntos *Fuzzy*, e a possibilidade de realizar uma avaliação injusta, devido ao fato de dois resultados *Fuzzy* diferentes poderem ser traduzidos como equivalentes. Isto é, sejam $F1$ e $F2$ dois resultados *Fuzzy* diferentes, representados por um universo X , tendo E (excelente), V (muito bom), G (bom), S (satisfatório) e U (insatisfatório) como conjuntos padrão de X . Caso o resultado de $F1$ mostre um valor maior em V perante os demais grupos, esse é classificado em uma pontuação B , pertencente ao conjunto discreto (A, B, C, D, E) .

Entretanto, se $F2$ apresentar um valor maior em V perante os demais grupos, mesmo

sendo um resultado diferente de $F1$, “estes serão traduzidos para a mesma pontuação B , e isto é injusto em um teste de avaliação” (CHEN; LEE, 1999, p.213).

A fim de resolver esse problema, um novo método apresentado compõe onze níveis de satisfação a fim de avaliar os resultados dos alunos, possibilitando avaliar os estudantes de maneira mais justa, diminuindo a chance de dois resultados diferentes serem classificados com uma mesma pontuação. Além disso, esse método pode ser executado muito mais rápido do que o apresentado por Biswas (1995) e não necessita de operações matemáticas complicadas (CHEN; LEE, 1999, p. 218).

A apresentação de uma ferramenta para o auxílio à tomada de decisão, relacionada com fatores que possam interferir no rendimento escolar, é mostrada em Oliveira e Silva (2014). Essa ferramenta utiliza uma máquina de inferência *Fuzzy* que manipula quatro variáveis de entrada a fim de encontrar um resultado como saída.

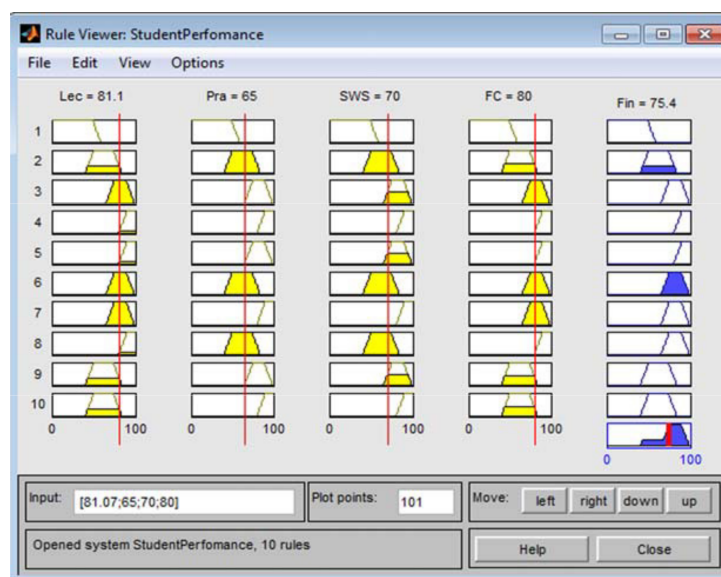
Segundo o autor, são vários os fatores que interferem no rendimento escolar, destacando-se a participação da família, qualidade do professor, infraestrutura da escola e motivação do aluno. A proposta é encontrar uma resposta sobre o que fazer a fim de melhorar o rendimento de determinado aluno. Para tanto, é realizada uma análise a respeito dos fatores apresentados acima.

A grande adaptabilidade da lógica *Fuzzy* para problemas do mundo real é a principal vantagem de se utilizar essa ferramenta na análise do desempenho do aluno, uma vez que fatores como participação da família, qualidade do professor, infraestrutura da escola e motivação do aluno são, geralmente, incertos e imprecisos. Para Oliveira e Silva (2014), um rendimento insuficiente por parte do aluno pode ser resultado de vários fatores (ou variáveis) e por meio da lógica *Fuzzy* é possível analisar o grau de pertinência de cada um desses fatores.

O trabalho de Barlybayev et al. (2016) apresenta uma proposta de se utilizar a Lógica *Fuzzy* na avaliação do desempenho de estudantes a fim de se obter uma educação mais qualitativa. Na demonstração das análises, percebeu-se que esse método se aproxima mais da realidade do que outras formas de cálculo - como a média aritmética - quando se trata de calcular o desempenho do aluno.

Um experimento foi realizado com um grupo de 13 alunos, conforme mostra a Figura 2, no qual avaliou-se as estimativas para palestras (LEC), aulas práticas (PRA), trabalho independente (SWS) e o controle final (FC), registradas em um registro eletrônico do professor, e que seriam utilizadas como variáveis de entrada para o cálculo *Fuzzy*, tendo como resultado uma avaliação final (FIN).

FIGURA 2 – RESULTADOS DO CÁLCULO FIN



FONTE: (BARLYBAYEV et al., 2016)

Após os testes, Barlybayev et al. (2016) mostraram que a avaliação de desempenho utilizando Lógica *Fuzzy* mostrou-se mais “palatável” ao se comparar com a média aritmética e outros métodos de avaliação. Para os autores, “a computação *Fuzzy* é uma ferramenta matemática poderosa e comprovada internacionalmente” e pode ser utilizada em diversos lugares (BARLYBAYEV et al., 2016, p. 105).

Rieder e Brancher (2004) apresentam um jogo interativo de matemática, o Mercado GL, cujo objetivo é proporcionar informações personalizadas acerca do desempenho dos alunos em um ambiente tridimensional de ensino. Esse jogo consiste em um Sistema Tutor Inteligente que disponibiliza atividades lúdicas, junto a um monitoramento das ações do aluno baseado em Lógica *Fuzzy*.

O sistema é composto por três módulos, sendo estes: (i) o questionário de avaliação respondido pelo aluno; (ii) o monitoramento do jogo pelas regras *Fuzzy*, que oferece relatórios analíticos para o professor; e (iii) o Sistema Tutor Inteligente, cujo objetivo é auxiliar e compreender as ações do aluno durante o jogo.

Um Sistema Tutor Inteligente - STI é um programa computacional que objetiva o auxílio da aprendizagem por parte do aluno, possuindo certo grau de autonomia na interação com o usuário (VICCARI, 1990). O jogo Mercado GL conta com um STI e um sistema *Fuzzy*, pois, além de direcionar o aluno com dificuldades no aprendizado, trabalha com regras e informações aproximadas e inexatas.

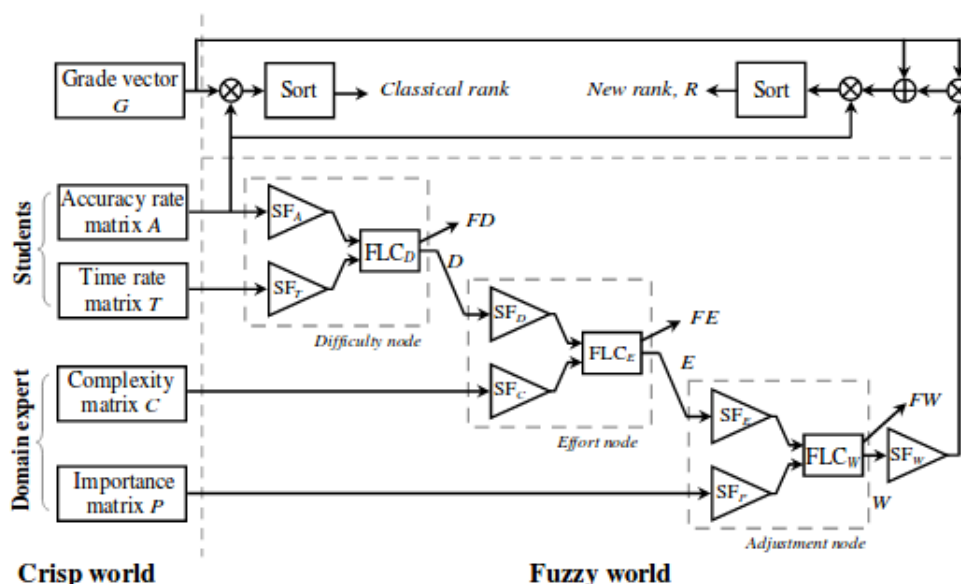
A Lógica *Fuzzy* foi utilizada como um conjunto de regras que procuram encontrar a dificuldade do usuário, representada por pesos e associada a conteúdos matemáticos, de modo a sugerir uma abordagem pedagógica para cada aluno. O sistema trabalha com duas variáveis de entrada - conteúdo e problema - em que seus conjuntos são respectivamente representados

pelas variáveis linguísticas: (difícilíssimo, difícil, médio, fácil, fácilíssimo); e (difícil, médio e fácil). Já as variáveis de saída representam diagnósticos a respeito das dificuldades de aprendizagem e propostas de abordagens pedagógicas a serem utilizadas (RIEDER; BRANCHER, 2004, p.131).

A partir das ações do aluno durante o jogo, o STI pode gerar um relatório sobre o comportamento do aluno, auxiliar na decisão sobre o tipo e resposta a ser-lhe dada ao mesmo, atualizando os pesos associados aos conteúdos e auxiliando o professor no processo de avaliação.

Saleh e Kim (2009) apresentam um sistema de avaliação de aprendizagem que leva em consideração a dificuldade, a importância e a complexidade das questões de um teste, automatizando o processo e tornando-o mais justo e razoável. O sistema pode ser representado por um “diagrama de blocos de lógica *Fuzzy*”, conforme mostrado na Figura 3.

FIGURA 3 – DIAGRAMA DE BLOCOS DE LÓGICA *FUZZY*



FONTE: (SALEH; KIM, 2009, p.240)

O sistema consiste em três nós: de dificuldade, de esforço e de ajuste, sendo que suas entradas são obtidas a partir de exames e *fuzzificadas* com base nos níveis definidos: Baixo; Meio-Baixo; Médio; Meio-Alto; e Alto (SALEH; KIM, 2009). Para realizar o cálculo *Fuzzy* são utilizados arquivos FCL (controlador de lógica *Fuzzy*), de modo que cada um seja responsável por fornecer uma saída em valor numérico ou como uma variável linguística (MF). Cada nó, conforme visto no diagrama anterior, apresenta dois fatores de escala (SF) que podem ser utilizados para ajustar os efeitos das entradas, assim como descrevem Saleh e Kim (2009):

O nó de dificuldade possui duas entradas da taxa de precisão e da taxa de tempo, e uma saída da dificuldade. O nó de esforço tem duas entradas da dificuldade e complexidade, e uma saída do esforço. O nó de ajuste tem

duas entradas do esforço e da importância, e uma saída do ajuste (SALEH; KIM, 2009, p.6241)⁶.

O cálculo é realizado em três passos: *fuzzificação*, convertendo os valores de pertinência nos conjuntos difusos; inferência, aplicando a base de regras de produção; e *defuzzificação*, convertendo os valores difusos em um único valor nítido ou no valor final. O sistema utiliza o COG (centro de gravidade) pra obter o valor final, e foi implementado usando o *Fuzzy Logic Toolbox TM 2.2.7 by MathWorks*⁷ (SALEH; KIM, 2009, p. 6241)

Malvezzi, Mourão e Bressan (2010) apresentam uma ferramenta com o objetivo de acompanhar a avaliação do aluno em um curso presencial, utilizando informações do próprio estudante e do ambiente virtual de aprendizagem operado pelo mesmo. A ferramenta adota Lógica *Fuzzy* para analisar as informações pertinentes ao aluno e seu entorno.

A Lógica *Fuzzy* foi utilizada, segundo Malvezzi, Mourão e Bressan (2010), devido a sua capacidade de assemelhar-se ao pensamento humano quanto às informações imprecisas na tomada de decisão. Inicialmente, a ferramenta possui um conjunto de quatro variáveis linguísticas de entrada, “três advindas da interação do ambiente virtual de aprendizagem, o TADS VIRTUAL, e a outra do resultado da avaliação do aluno” (MALVEZZI; MOURÃO; BRESSAN, 2010, p. 72). A saída deve expressar, de forma concisa, todo o contexto de interações no ambiente virtual junto ao rendimento dos testes escritos, sendo assim um valor somativo formado de variáveis que expressam fatores qualitativos e quantitativos.

O módulo de aquisição da média *Fuzzy* do AVATads foi desenvolvido utilizando a API (Interface de Programação de Aplicativos) *jFuzzyLogic*, uma biblioteca Java para o desenvolvimento de uma FCL (*Fuzzy Control Language*) baseada no standard IEC 61131-7 (*International Electrotechnical Commission*).

O objetivo do sistema AVATads é de prover ao professor uma ferramenta que permita a coleta de informações, a fim de evidenciar falhas no processo de ensino e aprendizagem no modelo presencial mediado por tecnologia. Essas falhas podem ser observadas através das notas parciais obtidas pela Lógica *Fuzzy*.

Nesse sistema, o professor titular é responsável por observar a participação dos alunos e emitir um juízo de valor para cada conjunto de interações, por exemplo: insuficiente, regular, bom, muito bom e ótimo (MALVEZZI; MOURÃO; BRESSAN, 2010). Ao final das duas primeiras semanas é realizada uma avaliação parcial escrita, e no final da terceira semana, uma prova final. O sistema carrega todas as notas atribuídas ao aluno e utiliza-as como variáveis de entrada para o processamento *Fuzzy*. A saída é composta de duas médias parciais e uma final, sendo que “as médias parciais darão uma clara visão do estado de aprendizagem das turmas distribuídas pelo interior, possibilitando, assim, um *feedback* oportuno que viabilize pontuais correções dos desvios sistemáticos que possam surgir durante o processo de aprendizagem” (MALVEZZI; MOURÃO; BRESSAN, 2010, p. 72).

⁶Tradução livre do autor

⁷Disponível em: <<http://www.mathworks.com/products/fuzzylogic>>

Uma consideração importante, na visão dos autores, é que a utilização de Lógica *Fuzzy* se mostrou simples e de custo computacional reduzido e, por meio de simulações, a ferramenta foi capaz de realizar o processamento de informações e de dados de natureza imprecisas e vagas, concluindo ser especialmente apropriada para esse fim.

Rissoli, Giraffa e Martins (2008) apresentam uma proposta de um Sistema Tutor Inteligente (STI) baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa com sua arquitetura estendida, utilizando um componente baseado em Lógica *Fuzzy*. O STI, conhecido como SAE (Sistema de Apoio Educacional), tem por objetivo auxiliar no processo de ensino e aprendizagem do aluno de maneira personalizada, analisando suas particularidades e direcionando-o ao longo do curso.

A fim de representar a estrutura cognitiva do aluno, é utilizada a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, defendida pois:

o ser humano possui maior facilidade em captar aspectos diferenciados de um todo geral mais substantivo e previamente aprendido, do que compreender o todo a partir de suas partes menos inclusivas, e (...) a organização do conhecimento na mente humana consiste em uma estrutura hierárquica (RISSOLI; GIRAFFA; MARTINS, 2008, p. 40).

Como exemplo de representação hierárquica, a Figura 4 mostra o mapa conceitual da disciplina de Algoritmos e Programação e, diante dessa representação, pode-se acompanhar cada um dos elementos e obter um resultado alcançado pelo aluno.

FIGURA 4 – MAPA CONCEITUAL DA DISCIPLINA DE ALGORITMO E PROGRAMAÇÃO



FONTE: (RISSOLI; GIRAFFA; MARTINS, 2008, p. 44)

Toda a disciplina é estruturada conforme os tópicos que a compõe e, segundo Rissoli, Giraffa e Martins (2008), os especialistas podem definir um fator mínimo como satisfatório que determinará se o aluno pode avançar no conteúdo. Para ser capaz de analisar o conhecimento de cada aluno, o sistema deve identificar a situação do aluno sobre os tópicos que compõem

um conteúdo estudado. “Isso ocorre por meio da identificação do grau de pertinência sobre os resultados obtidos em cada tópico que corresponderão a elementos do conjunto *Fuzzy*” (RISSOLI; GIRAFFA; MARTINS, 2008, p. 43). Desta maneira, o SAE promove um caminho diferente de estudo e reforço para cada aluno durante o curso.

Além disso, a simples representação do curso em mapas conceituais, baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa, e a maior clareza no uso das variáveis linguísticas da Lógica *Fuzzy*, são percebidas por Rissoli, Giraffa e Martins (2008) como contributos na representação e organização do conhecimento, junto ao método de análise acerca do estudante.

A Lógica *Fuzzy* também apresentou seu contributo na análise do corpo acadêmico, conforme visto em Samuel, Omisore e Atajeromavwo (2014). A avaliação e a gestão do desempenho atraíram muita atenção nas universidades e faculdades europeias (MCCARTHY; KEEFE, 1999). Entretanto, os métodos convencionais de avaliação são defeituosos, por serem subjetivamente tendenciosos, e há a existência de diferentes padrões de avaliação, resultando em avaliações inconsistentes (FOLGER et al., 1992).

Samuel, Omisore e Atajeromavwo (2014) evidenciam as adversidades acima, e complementam afirmando sobre a dificuldade de se obter um método de avaliação eficiente e padronizado. Apoiados por Samuel, Omisore e Ojokoh (2013), afirmam que tais desafios são motivadores para a utilização da Lógica *Fuzzy* como modelo eficiente de Sistema de Apoio à Decisão, tomando como objetivo a modelagem de um sistema que auxilie na avaliação do desempenho (PA - *performance appraisal*) do corpo acadêmico em Instituições de Ensino Superior.

A arquitetura é constituída de: (i) uma interface de usuário, que fornece um meio de comunicar e receber *feedback* do sistema; (ii) um componente de entrada, que permite a entrada das variáveis de decisão; (iii) um componente de saída, que exhibe o resultado de avaliação geral de uma determinada equipe; (iv) uma base de conhecimento, que abriga o conhecimento de especialistas em domínio (HRMs); e (v) um Sistema de inferência *Fuzzy* (FIS), que utiliza um conjunto de procedimentos pré-definidos, com base nos fatos e nas regras em avaliação de PA, e variáveis de decisão de entrada, de modo a fornecer um resultado de PA eficiente para uma equipe específica (SAMUEL; OMISORE; ATAJEROMAVWO, 2014).

A proposta do sistema é obter as variáveis de entrada e determinar o respectivo desempenho daquele a ser avaliado. Tais variáveis são, por exemplo: diploma de bacharel, mestrado e doutorado; publicações em livros e conferências; anos de experiência como professor; número de cursos lecionados; entre outras. Por meio da função de pertinência, são atribuídos graus em cada conjunto *Fuzzy*. Posteriormente, através das regras de agregação, pode ser definido o desempenho do profissional. Por meio de um teste estatístico padrão, o sistema mostrou uma precisão de 78% na avaliação de desempenho.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 METODOLOGIA

O presente trabalho aborda a investigação de um problema e a concepção e avaliação de um protótipo utilizando, como metodologia, a *Design-Based Research* (DBR), também conhecida como metodologia de desenvolvimento. Essa consiste em uma abordagem de investigação que reúne metodologias quantitativas e qualitativas, tal como a análise de documentos e inquéritos mediante questionários, com o foco no desenvolvimento de um artefato ou conceito que busque soluções práticas para o problema investigado. Conforme Anderson e Shattuck (2012), a DBR consiste em uma metodologia projetada por e para educadores, a fim de procurar aumentar o impacto, a transferência e a utilização de pesquisas educacionais para melhorias práticas.

Para Coutinho e Chaves (2000), tal metodologia aplica-se a situações diversas de pesquisas educativas, especialmente investigações no âmbito de tecnologias na educação. Wang e Hannafin (2005) afirmam que a pesquisa científica, sob tal metodologia, colabora no âmbito educacional por meio do envolvimento ativo entre teoria e prática, assumindo que é influenciada pelo ambiente externo. Para tal feito, McKenney e Reeves (2011) apresentam cinco características importantes da DBR:

- Teoricamente orientada: a pesquisa fundamenta-se em teorias que são utilizadas para fundamentar a construção da proposta prática;
- Intervencionista: a pesquisa deve utilizar fundamentos teóricos para desenvolver aplicações que possibilitarão a intervenção no campo da práxis pedagógica;
- Colaborativa: o desenvolvimento de soluções busca a colaboração de todos os envolvidos na práxis em que se situa;
- Fundamentalmente responsiva: a pesquisa é moldada pelo diálogo dos participantes, conhecimento teórico e bibliográfico, e pelo conjunto de testes e validações;
- Iterativa: por buscar soluções práticas, a pesquisa não é realizada para terminar, mas sim para permanecer em constante aperfeiçoamento. Esta característica é a mais marcante da DBR.

Como afirmam Anderson e Shattuck (2012), a DBR surge da necessidade da utilização de diferentes métodos, ao aplicar suas respectivas descobertas a contextos com realidades plurais, evidenciando a pesquisa prática. Esse fator é ressaltado por Barab e Squire (2004 apud ANDERSON; SHATTUCK, 2012), que reconhecem que uma pesquisa baseada na DBR que aborda uma teoria sem demonstrar seu valor prático na aprendizagem não justifica corretamente a sua serventia. Além disso, Wang e Hannafin (2005) corroboram a afirmação de que tal metodologia necessita estar intrinsecamente ligada e nutrida por múltiplas metodologias de *design* e pesquisa. A DBR “não substitui outras metodologias, mas sim fornece uma abordagem alternativa que enfatiza direta, escalável, e simultaneamente melhorias na pesquisa, teoria e prática” (WANG; HANNAFIN, 2005, p. 6).

A necessidade de uma aproximação entre teoria e prática, análise de um problema no contexto na universidade e proposta de desenvolvimento de uma solução são requisitos que tornam a DBR uma metodologia adequada para o presente trabalho.

3.2 DESENHO DO ESTUDO

O estudo está dividido em três etapas: (i) a investigação do problema; (ii) o desenvolvimento do protótipo; e (iii) a validação por peritos.

A primeira etapa consistiu na investigação, observação e fundamentação do problema envolvendo o meio acadêmico, utilizando questionários como ferramentas de coleta de dados. Essa etapa abordou, também, a revisão bibliográfica sobre a lógica *Fuzzy*, os Sistemas Especialistas em Prolog e o levantamento de estudos relacionados.

A segunda etapa contemplou o construção do protótipo, consistindo em um processo iterativo de desenvolvimento e refinamento, concentrando-se no objetivo de conceber o *software* proposto. O desenvolvimento se baseou em uma problema pouco investigado que contém requisitos vagos (pouca informação). Devido a isso, necessitou de constante comunicação entre os envolvidos (alunos, coordenadores de curso e coordenadores pedagógicos), *feedback* rápido e simplicidade quanto à solução proposta. Além disso, constataram-se mudanças durante seu ciclo de vida, exigindo alterações incrementais.

Tais fatores (comunicação, *feedback*, simplicidade e incremento) são alguns dos valores da metodologia *eXtreme Programming* (XP) (PRESSMAN, 1995). A XP é uma metodologia ágil de desenvolvimento de *software*, nascida nos Estados Unidos no final da década de 90, que baseia-se em alguns princípios que prezam, primeiramente, pela concepção de soluções para as necessidades imediatas que enfatiza a colaboração entre todos os envolvidos (clientes e desenvolvedores).

As etapas da XP são iterativas e compreendem planejamento, projeto, codificação e testes. Utilizou-se, então, uma metodologia de desenvolvimento ágil de *software*, baseada na XP, que permita a concepção e construção de uma solução de modo iterativo e incremental, de forma compatível com a DBR.

Sendo assim, o ciclo de vida do *software* proposto foi composto das atividades:

- Especificação: contempla a especificação dos requisitos funcionais e não funcionais do sistema e o planejamento do desenvolvimento, cabendo a reanálise e reescrita dos requisitos, caso existam alterações futuras;
- Implementação: contempla o desenho da arquitetura e a codificação do *software*;
- Testes: realizados concomitantemente à etapa de desenvolvimento, tanto pelo desenvolvedor quanto por terceiros (testes de aceitação). Objetiva encontrar erros e falhas, além de possibilitar a reescrita da especificação.

Por fim, a terceira etapa consistiu na aceitação do protótipo por peritos da área de Computação e de Pedagogia e por coordenadores de curso (Apêndice A.3 e A.4), a fim de identificar possíveis falhas e elencar melhorias. Isso foi realizado mediante a utilização de

questionários que objetivam analisar questões como: (i) usabilidade; (ii) experiência no uso do sistema; (iii) adequação de termos e palavras utilizadas; (iv) facilidade na utilização; e (v) relevância do *software* quanto ao problema investigado.

3.3 AMOSTRA

Para o levantamento de dados utilizou-se uma amostra por conveniência, que consiste em selecionar indivíduos da população que sejam acessíveis, tornando-a de maior facilidade operacional e baixo custo. A amostra foi constituída de alunos dos cursos de Medicina Veterinária, Ciências Biológicas e Licenciatura em Computação, além de professores especialistas nas áreas de Computação e Pedagogia, ambos da Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina, sendo facilitada devido à proximidade dos indivíduos e melhor percepção do problema.

3.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Em um primeiro momento aplicou-se um questionário inicial *online*, disponibilizado pela plataforma Formulários do *Google* (Apêndice A.1), que continha questões objetivas e discursivas, objetivando analisar a existência do problema da rematrícula e o impacto de se desenvolver uma solução. Após o desenvolvimento do sistema, realizou-se um teste, utilizando um questionário de avaliação impresso (Apêndice A.2), cujo objetivo foi verificar a eficiência e usabilidade do *software*. Nesse, foram comparadas as matrículas realizadas por alguns estudantes no semestre anterior às recomendações do sistema. Em seguida, realizou-se uma terceira avaliação, por peritos, da área da Computação e da Pedagogia, e coordenadores de curso, utilizando-se dois questionários ((Apêndice A.3) e A.4) a fim de verificar a adequação e relevância do *software*.

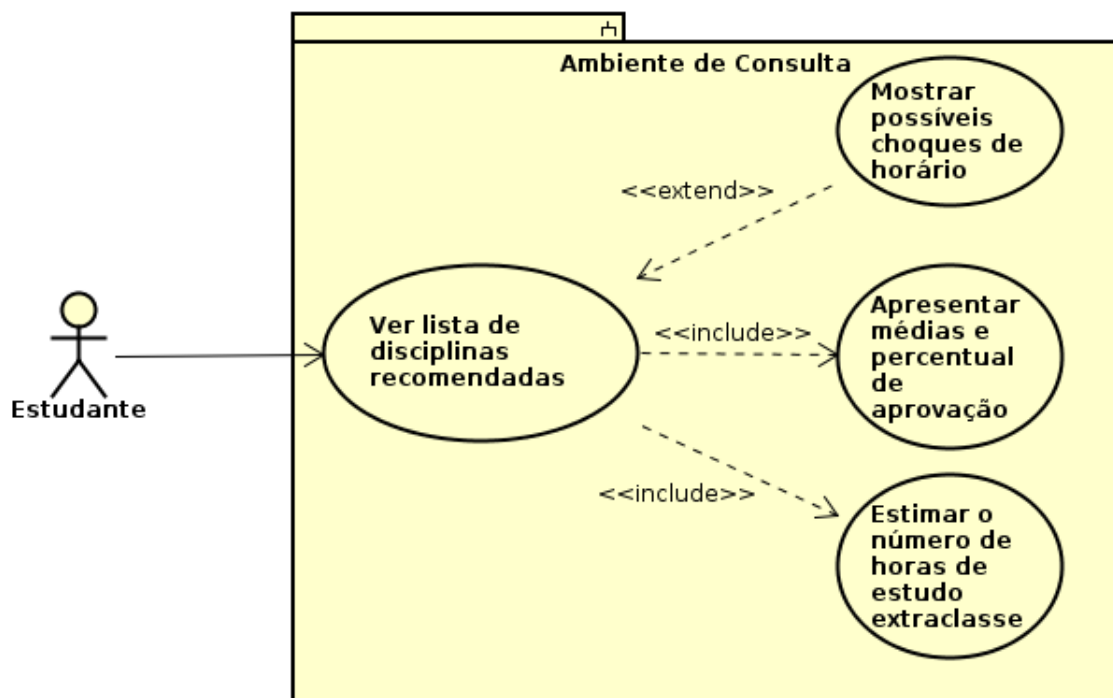
3.5 TÉCNICA DE ANÁLISE DE DADOS

Os dados recolhidos foram organizados em tabelas e gráficos, sendo as questões discursivas verificadas mediante análise de conteúdo do tipo exploratório. Todos os resultados encontram-se na Seção 5.

4 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do *software* Athena – Sistema para Recomendação de Disciplinas – iniciou-se com a análise do problema da rematrícula e a participação, em reuniões, do cliente – professores e alunos da universidade – e do desenvolvedor – aluno e orientadores do presente trabalho – a fim de realizar o levantamento das especificações. Diante da análise, surgiu a proposta de um *software* capaz de criar uma lista de recomendação de disciplinas baseada no perfil do estudante, a fim de auxiliá-lo em sua escolha no momento da rematrícula. Foram identificados dois atores: o aluno, que deve ter acesso à recomendação de disciplinas para rematrícula; e o coordenador, que deve ter acesso a funcionalidades administrativas e de cadastro de pré-requisitos. Elencaram-se, então, de maneira iterativa, os requisitos funcionais para o desenvolvimento do sistema, de modo que na Figura 5 são apresentados aqueles destinados ao Ambiente de Consulta.

FIGURA 5 – DIAGRAMA DE CASO DE USO: AMBIENTE DE CONSULTA



FONTE: Imagem do autor (2018)

Os casos de uso do diagrama anterior representam as interações entre o estudante e o *software*, que podem ser descritos nos seguintes requisitos funcionais:

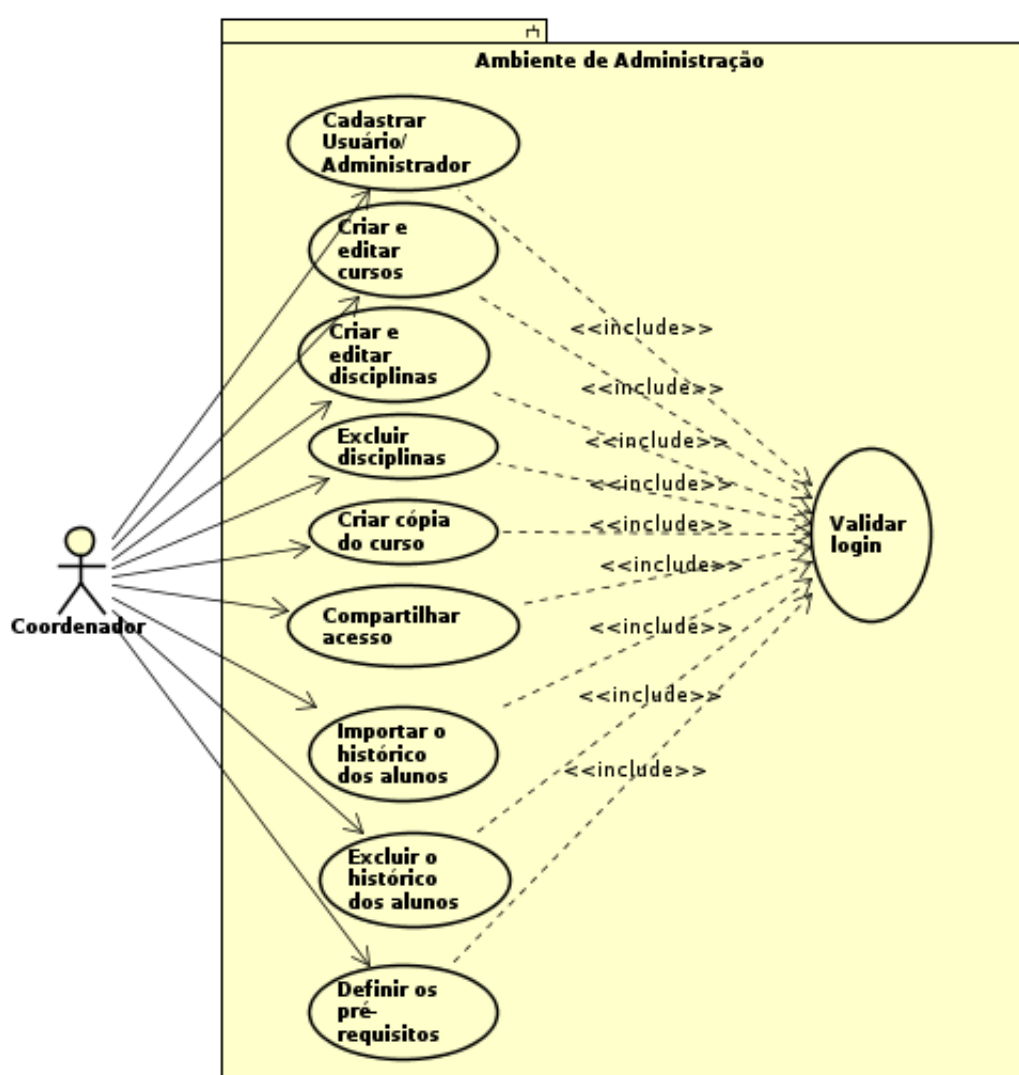
- **Ver lista de disciplinas recomendadas:** O aluno insere seu GRR. O sistema faz o processamento da recomendação de disciplinas e as disponibiliza ao aluno. São apresentadas apenas disciplinas ofertadas no semestre e que o aluno ainda não tenha concluído. Cada uma é apresentada com um nível de recomendação (0% a 100%).
- **Mostrar os possíveis choques de horário:** Caso duas ou mais disciplinas apresentem

o mesmo horário de oferta, o sistema mostrará ao aluno, por meio de um recurso visual, todos os choques de horário;

- **Apresentar as médias e o percentual de aprovação:** O sistema apresenta as médias do aluno em cada categoria de disciplina, bem com o percentual de aprovação nestas;
- **Estimar o número de horas de estudo extraclasse:** Para cada disciplina recomendada, o sistema deve estimar um número de horas de dedicação semanal que o aluno necessita, baseando-se na dificuldade em cada categoria de disciplinas.

Além disso, foram identificadas as responsabilidades do Ambiente de Administração, destinado ao coordenador de curso, conforme diagrama de caso de uso da Figura 6.

FIGURA 6 – DIAGRAMA DE CASO DE USO: AMBIENTE DE ADMINISTRAÇÃO



FONTE: Imagem do autor (2018)

Nesse diagrama percebe-se que o coordenador de curso detém um papel de gestor, cabendo-lhe a responsabilidade do cadastro e manutenção das disciplinas, dos dados dos estudantes e dos cursos. Uma descrição mais detalhada de cada caso de uso é dada a seguir:

- **Cadastrar usuário:** Permitir o cadastro para utilização do Ambiente de Administração. Cada usuário deve informar, necessariamente, um nome e uma senha;
- **Validar login:** Verificar nome e senha do usuário para limitar a gestão dos cursos apenas a seus devidos administradores;
- **Criar e editar cursos:** Possibilitar, após o *login*, a criação e edição de cursos;
- **Criar e editar disciplinas:** Possibilitar a criação e edição de disciplinas para determinado curso. As informações solicitadas são nome, código, carga horária e categoria de cada disciplina, sendo que o código deve ser único dentro de um mesmo curso;
- **Excluir disciplinas:** Possibilitar a exclusão de disciplinas desde que não sejam, ou tenham, pré-requisitos.
- **Compartilhar acesso:** Possibilitar o compartilhamento do acesso a determinados cursos, a fim de que mais de um usuário possa realizar a gestão, limitando algumas funções específicas àqueles que receberem o compartilhamento;
- **Criar cópia do curso:** Criar um novo curso baseando-se em um já existente a fim de facilitar o cadastro de cursos que contenham disciplinas idênticas ou semelhantes. A cópia terá nome e código diferentes, porém importará automaticamente todas as disciplinas do curso original.
- **Importar o histórico dos alunos:** Realizar a importação do histórico dos alunos de determinado curso por meio de um arquivo CSV¹;
- **Excluir o histórico dos alunos:** Permitir excluir os dados relacionados aos alunos matriculados em determinado curso;
- **Definir pré-requisitos:** Definir quais disciplinas contêm dependências entre si.
Por fim, elicitar-se os seguintes requisitos não-funcionais:
- **Visibilidade e consistência quanto à interface:** A interface deve proporcionar visibilidade e consistência, permitindo que o usuário se localize no sistema com facilidade e realize operações de modo padronizado;
- **Consistência nos dados:** O banco de dados deve manter os dados consistentes, isto é, os dados não podem ser corrompidos por falhas no sistema ou fatores externos;
- **Restrição de acesso:** O acesso aos dados deve ser restrito aos usuários e administradores credenciados;
- **Disponibilidade de acesso:** O sistema deve ser acessível via Internet, portanto deve ser capaz de ser utilizado por meio de um navegador *Web*;
- **Validação de dados importados:** Os dados referentes ao histórico dos alunos devem poder ser importados e validados por meio de um arquivo padrão. Em caso de inconsistência nos dados importados, o sistema deve informar ao usuário qual o erro encontrado.

Para satisfazer tais necessidades, foi proposta a separação do *software* em dois subsistemas: um para consulta e outro para administração, provendo a separação de responsabilidades

¹ *Comma-separated values*, formato disponível em editores de planilhas.

do sistema e melhor planejamento. Elencaram-se, então, duas etapas de desenvolvimento: a criação do Ambiente de Consulta e do Ambiente de Administração.

Ao interagir com o Ambiente de Consulta, o estudante é capaz de visualizar uma lista de disciplinas que constituem todas as possibilidades de matrícula. O *software* apresenta uma análise a fim de auxiliar na escolha. No entanto, cabe ainda ao aluno a decisão final, possibilitando, assim, que ele avalie os níveis de recomendação, possíveis choques de horário entre as disciplinas e outras informações relevantes antes de realizar sua escolha.

Por meio do Ambiente de Administração, o coordenador pode criar e administrar cursos, cadastrar as disciplinas e pré-requisitos, importar o histórico dos alunos, entre outras opções referentes à gestão. Todas essas informações são essenciais para que o aluno consiga utilizar o Ambiente de Consulta.

Na próxima seção, será descrita a arquitetura do sistema, iniciando com o desenvolvimento do Ambiente de Consulta e, posteriormente, discorrendo sobre a inserção do Ambiente de Administração.

4.1 ARQUITETURA DO SISTEMA

Athena é um *software Web*, isto é, acessível por meio de aplicativos para navegação na *Web* (navegadores) e, portanto, apresentado na linguagem de marcação HTML (*Hyper-Text Markup Language*), criada dinamicamente por um servidor *Web*. Utiliza a arquitetura cliente/servidor, de modo que um servidor ofereça todos os serviços solicitados pelos clientes. Essa arquitetura permite centralidade dos dados, manutenção mais simples e acesso por meio de qualquer computador conectado à rede. A interface foi desenvolvida a fim de respeitar os seguintes princípios de *design* de usabilidade:

- visibilidade: permite que o usuário saiba onde está, a fim de que não se sinta 'desorientado' no sistema;
- *feedback*: proporciona as respostas corretas às requisições;
- restrição: procura impossibilitar que o utilizador realize tarefas equivocadas;
- consistência: projeta a interface para que operações semelhantes sirvam-se de elementos similares;
- *affordance*: permite a compreensão de como dado elemento se comporta apenas por observá-lo.

Desenvolveu-se, então, uma interface *Web* dinâmica, acessível e limpa, escrita nas linguagens de programação PHP (*PHP: Hypertext Preprocessor*) e *JavaScript*, utilizando *Bootstrap*, um *framework* CSS (*Cascading Style Sheets*) responsável por estilizar as páginas, e *jQuery*, um *framework JavaScript* responsável por aspectos dinâmicos da interface e pelas requisições assíncronas utilizando AJAX (*Asynchronous JavaScript and XML*). Foi empregado como servidor *Web* o *Apache HTTP Server*, um servidor livre da *Apache Software Foundation*²,

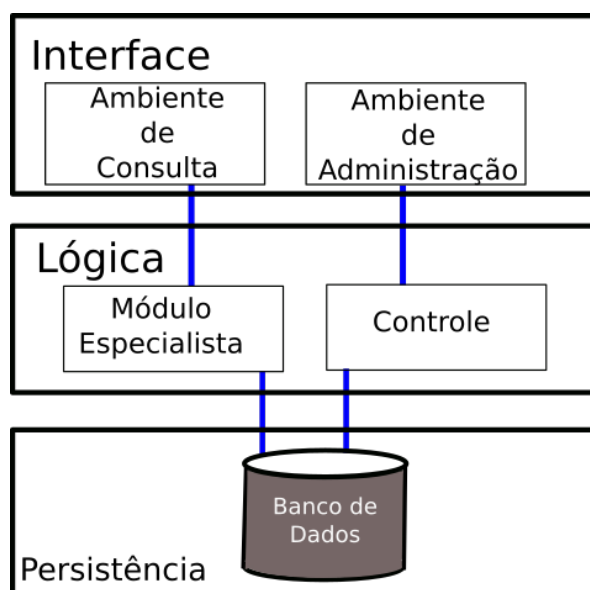
²Disponível em: <<https://httpd.apache.org>>

e o MySQL como sistema de banco de dados.

Além disso, utilizou-se a linguagem Java para a criação do Módulo Especialista, descrito na Seção 4.1.1. Nesse módulo é utilizada a lógica *Fuzzy*, por meio dos arquivos FCL (*Fuzzy Control Language*), e uma base de conhecimento Prolog destinada à representação das dependências entre as disciplinas.

A arquitetura geral propõe a separação entre as camadas de interface, lógica e de persistência, conforme a Figura 7. Tal separação objetiva maior legibilidade do código e facilidade em posteriores modificações.

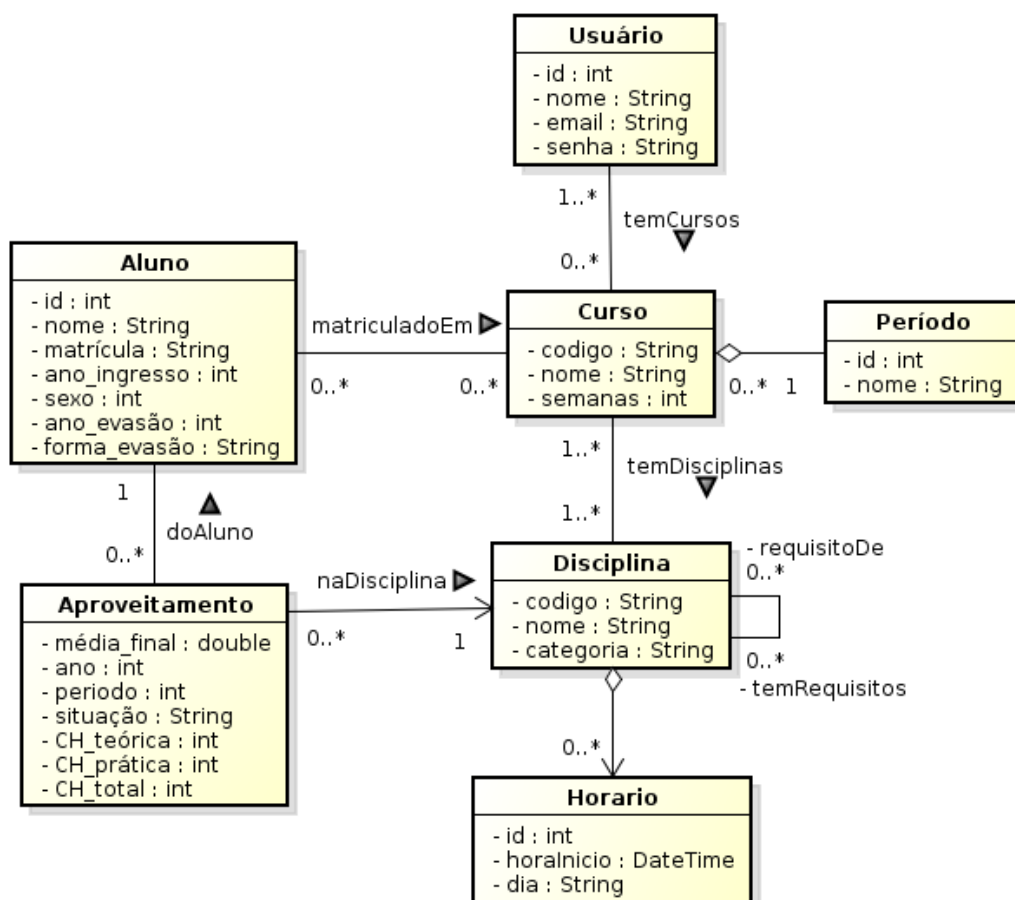
FIGURA 7 – ARQUITETURA DO SISTEMA ATHENA



FONTE: Imagem do autor (2018)

Deste modo, cada uma das três camadas apresentadas detêm uma responsabilidade: (i) a interface é responsável pela comunicação com o usuário; (ii) a lógica realiza os cálculos, controla as páginas apresentadas na interface e interage com a terceira camada; e (iii) a persistência responsabiliza-se por gravar e recuperar as informações na base de dados. O esquema de tal base de dados foi construído por meio do modelo de dados representado pelo diagrama de classes da Figura 8, conforme Booch, Rumbaugh e Jacobson (2006).

FIGURA 8 – DIAGRAMA DE CLASSES DA BASE DE DADOS



FONTE: Imagem do autor (2018)

No modelo percebe-se a relação entre as entidades utilizadas no banco de dados do sistema. Tais entidades foram mapeadas para o modelo físico do banco de dados relacional por meio de tabelas, que são responsáveis por persistir e organizar as informações que serão utilizadas durante a interação com o usuário, de modo que a tabela 'aproveitamento' seja responsável por guardar as informações de desempenho dos alunos em cada disciplina; 'usuário' representa o professor ou coordenador responsável pelo gerenciamento das informações de um curso, podendo compartilhar o acesso a outros usuários; a tabela 'requisito' surgiu da auto-associação da classe 'Disciplina' e contém os dados necessários para criar o arquivo Prolog conforme os pré-requisitos; a tabela 'horário' foi criada para guardar os horários de ofertas de disciplinas; e 'período' indica se determinado curso é oferecido no turno matutino, vespertino, noturno ou integral.

O desenvolvimento foi dividido em duas etapas, sendo que a primeira compreendeu a criação do Ambiente de Consulta, cujo objetivo é prover uma recomendação de disciplinas para o estudante se matricular. Ao final dessa etapa o sistema era capaz de recomendar disciplinas apenas aos alunos do curso de Licenciatura em Computação (conforme mostrado na Figura 9).

FIGURA 9 – RECOMENDAÇÃO DE DISCIPLINAS PARA ALUNO DE LICENCIATURA EM COMPUTAÇÃO DA UFPR

CÓDIGO	DISCIPLINA	ESCOLHER	RECOMENDAÇÃO	HORAS DE DEDICAÇÃO SEMANAL	HORÁRIOS	COLISÃO DE HORÁRIOS
DSH013	DIDÁTICA		81%	3		
DEE041	MATEMÁTICA II		50%	15		<div>ESCONDER</div> <div>DSH013</div>
DSH055	COMUNICAÇÃO EM LÍNGUA BRASILEIRA DE SINAIS - LIBRAS		44%	3		
DEE074	TÓPICOS EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL I (OPTATIVA)		25%	5		<div>MOSTRAR</div>
DSH027	EMPREENDEDORISMO (OPTATIVA)		25%	5		

FONTE: Imagem do autor (2018)

Na figura anterior pode-se ver a recomendação do sistema que consiste na lista de disciplinas que determinado estudante pode se matricular, a porcentagem de recomendação calculada, as horas de dedicação semanal extraclasse e horários de oferta e de colisão. Para que o sistema conseguisse realizar esta recomendação personalizada tornou-se necessário desenvolver um módulo específico, capaz de realizar os cálculos *Fuzzy* e de acessar as informações sobre o curso em que aluno está matriculado.

Desenvolveu-se, então, o Módulo Especialista, codificado na linguagem Java, cuja finalidade é a interação com a base Prolog e com os arquivos FCL, a fim de prover os resultados ao Ambiente de Consulta. Entretanto, para ser possível a utilização do *software* em outros cursos, necessitava-se codificar um novo arquivo em Prolog, descrevendo as dependências entre as disciplinas, e inserir informações diretamente no banco de dados.

Para contornar esse problema, na etapa seguinte, desenvolveu-se o Ambiente de Administração como uma extensão do *software*. O objetivo é a criação de um ambiente destinado à gestão, que possibilite realizar todas as alterações necessárias para se utilizar o sistema em outros cursos e instituições, sem a necessidade de conhecimentos em programação. Sendo assim, para melhor compreensão, são descritas, na seção 4.1.1, a arquitetura do Módulo Especialista, e na seção 4.1.2, a extensão do sistema, compreendendo a criação do Ambiente de Administração.

4.1.1 Arquitetura do Módulo Especialista

O Módulo Especialista é responsável por realizar a recomendação das disciplinas que o estudante está apto a se matricular. Para isso, são verificadas as possibilidades de matrícula, segundo os pré-requisitos, relevâncias (importância) de cada disciplina no atual período cursado

e a dificuldade do aluno em cada esfera do curso³. Esse módulo é codificado na linguagem Java e usa as bibliotecas *jFuzzyLogic*, a fim de utilizar a Lógica *Fuzzy*, e GNU Prolog⁴, que permite a consulta em arquivos codificados na linguagem Prolog.

A Lógica *Fuzzy* é empregada para projetar o nível de dificuldade do estudante e relevância de cada matrícula. Para tal feito, são criados arquivos FCL que descrevem as funções de pertinência e as regras de produção para inferência, representadas por uma pré-condição e uma ação, de modo que tal ação só será desencadeada se sua respectiva pré-condição for totalmente satisfeita. Exemplos de regras de produção são apresentadas no código abaixo, que define o nível de recomendação:

```
RULEBLOCK regras
```

```
  RULE 1:
```

```
    IF requisitada IS Alta AND dificuldade IS Alta
    THEN recomendar IS Media;
```

```
  RULE 2:
```

```
    IF requisitada IS Alta AND dificuldade IS Media
    THEN recomendar IS Alta;
```

```
  ...
```

```
END_RULEBLOCK
```

Para realizar qualquer cálculo, devem ser analisadas uma ou mais variáveis de entrada. No exemplo acima, percebe-se que as variáveis de entrada são denominadas *requisitada* e *dificuldade*, enquanto a variável de saída chama-se *recomendar*. Conforme a pertinência das primeiras em cada conjunto (*Alta*, *Muito Alta* ou *Média*) pode-se inferir um resultado para a variável *recomendar*. Por exemplo, na primeira regra (*RULE 1*) se *requisitada* for *Alta* e *dificuldade* for *Alta*, então *recomendar* será *Media*.

Já os arquivos em Prolog são utilizados para analisar a dependência entre as disciplinas, segundo os pré-requisitos. A inferência do Prolog é realizada de maneira recursiva, o que permite a dedução por meio de resolução, uma técnica de demonstração por refutação para sentenças lógicas. Por ser uma linguagem declarativa, ela não estipula uma maneira de chegar à solução, mas limita-se a descrever o problema que se deseja solucionar, representando assim uma base de conhecimento e suas relações lógicas. Deste modo, ao associar cada disciplina ao seu pré-requisito direto, a recursividade do Prolog é capaz de verificar os indiretos, ou seja, para verificar a possibilidade de cursar a disciplina 'a', conforme exemplo a seguir, deve-se analisar se já foram cursadas 'b' e 'c', além de seus requisitos.

```
requisito(a):-
    disciplina(b),
```

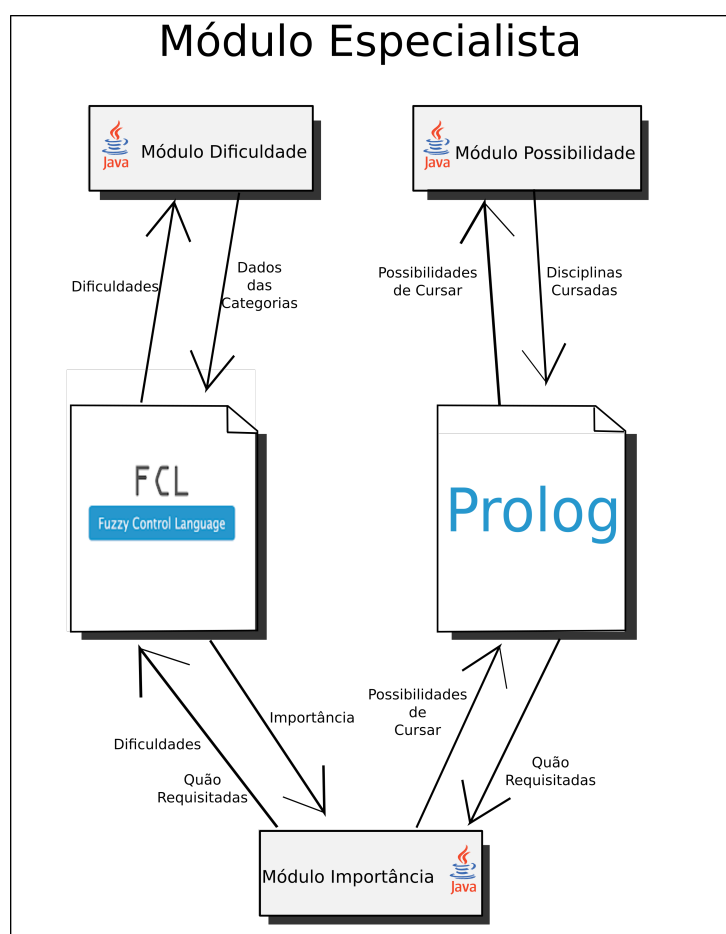
³Esferas do curso são categorias em que as disciplinas de um curso podem ser agrupadas segundo uma característica em comum. Tais categorias são definidas pelo utilizador do sistema e não apresentam limitações quanto à quantidade.

⁴Disponível em <<http://www.gprolog.org>>

```
requisito(b),
disciplina(c),
requisito(c).
```

Para dividir as responsabilidades e modularizar o sistema, o Módulo Especialista foi então subdividido em: Módulo Possibilidade; Módulo Dificuldade; Módulo Importância⁵, conforme Figura 10.

FIGURA 10 – MÓDULO ESPECIALISTA



FONTE: Imagem do autor (2018)

Cada módulo representado nessa figura é compilado separadamente e possui uma tarefa específica:

- Módulo Possibilidade: interage com a base de dados Prolog encontrando todas as possibilidades de matrículas, por meio de uma análise dedutiva baseada nas disciplinas em que o aluno já foi aprovado;

⁵É denominado Importância o índice atribuído a cada disciplina, analisando-se quais dependem dessa até a conclusão do curso e a dificuldade do aluno. Está, portanto, relacionado à relevância de se cursar a disciplina de acordo com a situação atual do aluno.

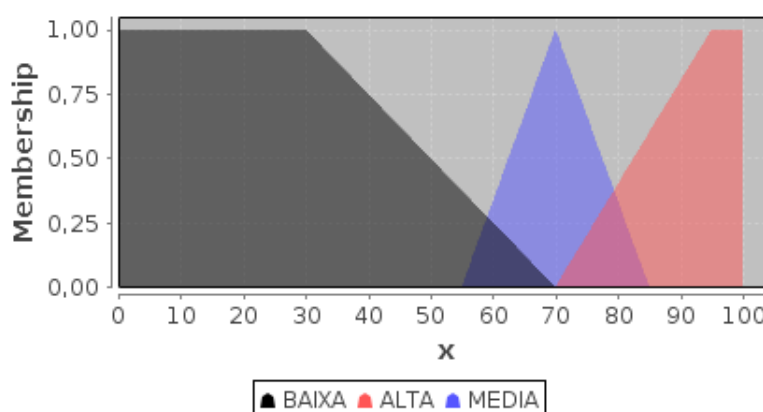
- Módulo Dificuldade: interage com o FCL a fim de projetar a dificuldade do aluno em cada esfera do curso, com base em seu desempenho;
- Módulo Importância: interage com o FCL, utilizando todas as informações anteriores (dificuldades e possibilidades) e com a base de dados Prolog a fim de projetar a importância de cada disciplina.

O primeiro módulo, Possibilidade, é incumbido de verificar todas as disciplinas que um estudante pode cursar. Tais disciplinas são aquelas que ainda não tenham sido cursadas pelo aluno em questão e com seus respectivos requisitos já cursados e com situação aprovada. Para isso, é realizada uma consulta no arquivo Prolog que representa o curso do aluno. Como exemplo, apresenta-se parte do código utilizado na listagem das possibilidades:

```
possibilidades(Resposta):- findall(X,requisito(X),Lista),
                           naoCursadas(Resposta,Lista).
```

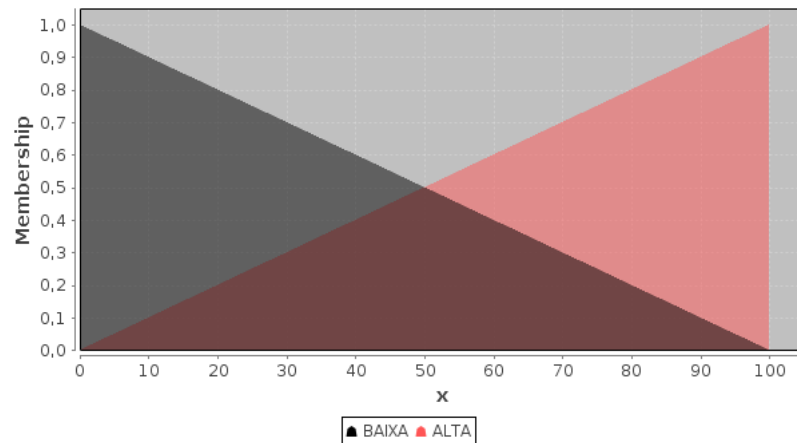
O segundo módulo, Dificuldade, utiliza arquivos FCL, cujas variáveis de entrada são a média aritmética das notas obtidas, o percentual de aprovação e a quantidade de disciplinas cursadas, todas agrupadas segunda cada esfera do curso. A variável *média aritmética*, observada na Figura 11, pode estar inclusa nos conjuntos *Fuzzy* (Alta, Média e Baixa), enquanto o percentual de aprovação, conforme Figura 12, pode estar em: *Alta e Baixa*. Já a quantidade de disciplinas cursadas apresenta uma função de pertinência que calcula apenas sua inclusão no conjunto *Muita*, de modo que, se não houver qualquer disciplina cursada na esfera correspondente, seja atribuído 0 (zero), e havendo três ou mais, seja atribuído 1 (um), ou 100%, conforme ilustrado na Figura 13. O valor apresentado influencia diretamente a variável de saída, e foi utilizado como um fator de confiança para atribuir um nível de dificuldade. Isto é, a quantidade de disciplinas cursadas é proporcional à certeza sobre o nível de dificuldade em determinada categoria.

FIGURA 11 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL MÉDIA ARITMÉTICA



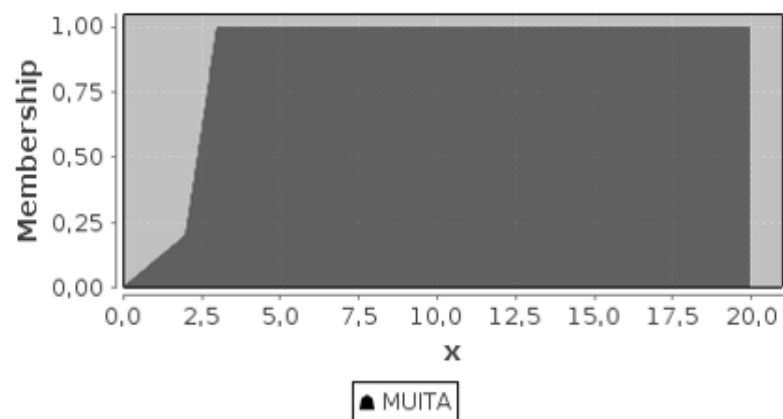
FONTE: Imagem do autor (2018)

FIGURA 12 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL PORCENTAGEM DE APROVAÇÃO



FONTE: Imagem do autor (2018)

FIGURA 13 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL QUANTIDADE CURSADA



FONTE: Imagem do autor (2018)

A variável de saída foi nomeada *dificuldade*, conforme a nomenclatura do módulo responsável, e é representada pela pertinência aos conjuntos: *Muito Alta*, *Alta*, *Média*, *Baixa* e *Muito Baixa*. As regras de produção são responsáveis por analisar todas as possibilidades de entrada e informar em qual conjunto *Fuzzy* será incluída a variável de saída, conforme representado na Tabela 1. É importante lembrar que os valores atribuídos são difusos, isto é, dependendo do nível de pertinência em que as variáveis de entrada estão sujeitas a cada conjunto *Fuzzy*, um valor é atribuído à saída.

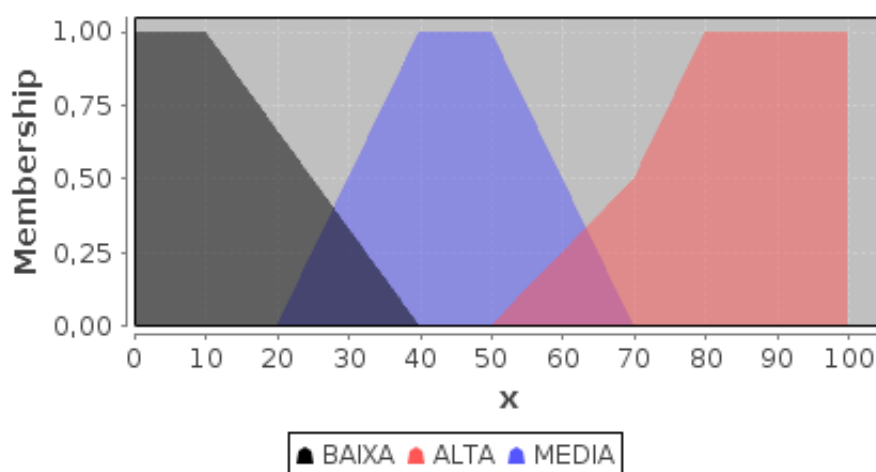
TABELA 1 – REGRAS PARA CÁLCULO DA DIFICULDADE

Aprovação	Média	Dificuldade
Alta	Alta	Muito Baixa
Alta	Média	Baixa
Alta	Baixa	Média
Baixa	Alta	Média
Baixa	Média	Alta
Baixa	Baixa	Muito Alta

FONTE: Produzido pelo Autor (2018)

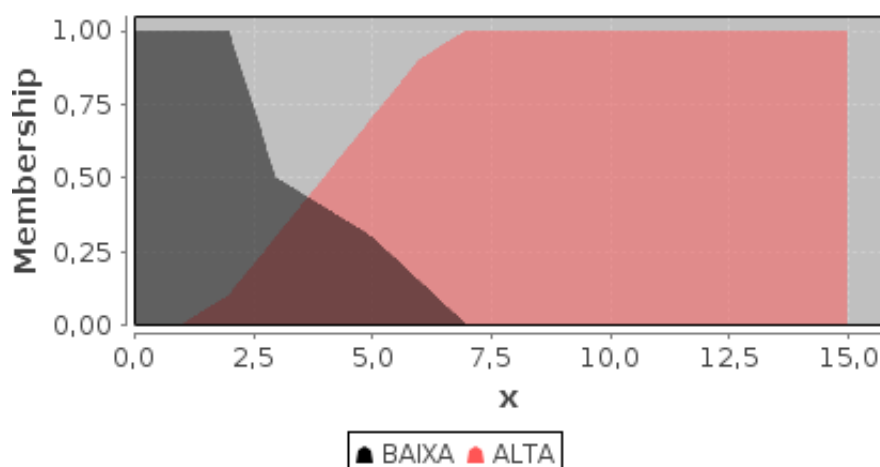
Já o terceiro módulo, Importância, interage com o arquivo FCL cujas variáveis de entrada são o nível de *dificuldade*, obtido através do Módulo anteriormente descrito, e o fator *requisitada*, que representa a quantidade de disciplinas que dependem de cada possibilidade. Essa última é obtida por meio dos arquivos Prolog. Ambas as variáveis apresentam os conjuntos *Fuzzy* – *Alta*, *Média* e *Baixa* – conforme apresentados na Figura 14 e na Figura 15, respectivamente. Como variável de saída, a *importância* apresenta o nível de recomendação da disciplina, cujos conjuntos são: *Muito Alta*, *Alta*, *Média*, *Baixa*, e *Muito Baixa*.

FIGURA 14 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL DIFICULDADE



FONTE: Imagem do autor (2018)

FIGURA 15 – FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA DA VARIÁVEL REQUISITADA



FONTE: Imagem do autor (2018)

A Tabela 2 apresenta as regras de produção para calcular o nível de importância baseado na dificuldade do estudante e em quão requisitada cada disciplina é.

TABELA 2 – REGRAS PARA CÁLCULO DA IMPORTÂNCIA

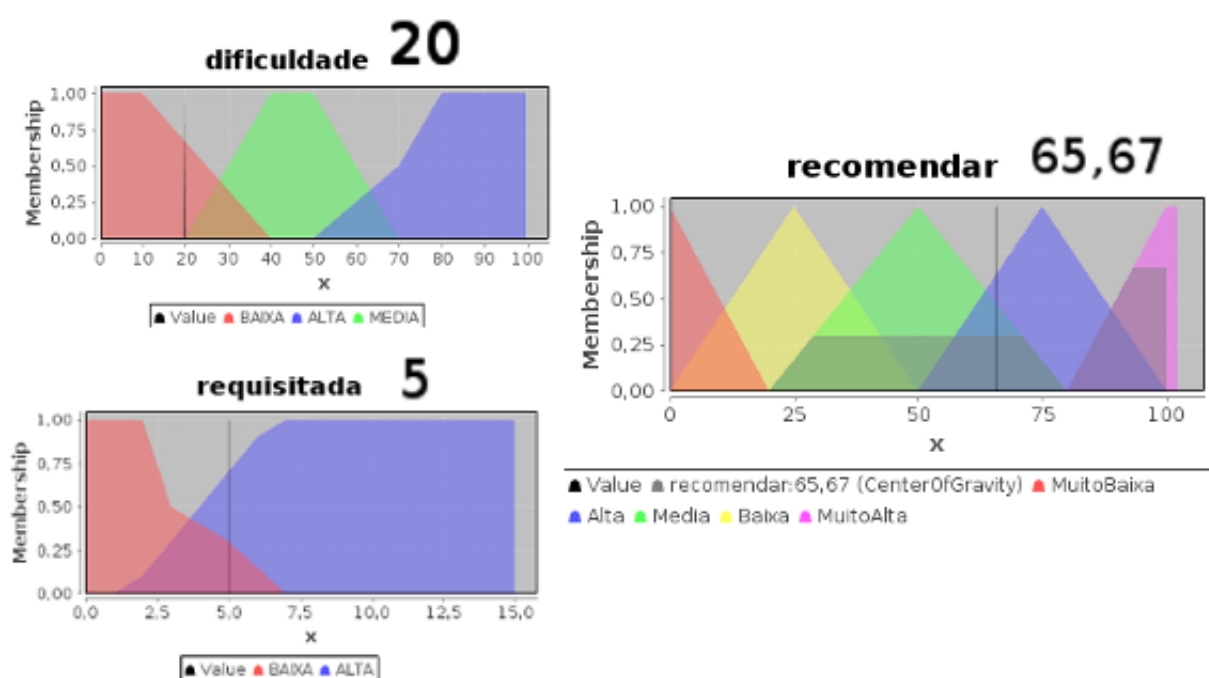
Requisitada	Dificuldade	Importância
Alta	Baixa	Muito Alta
Alta	Média	Alta
Alta	Alta	Media
Baixa	Baixa	Média
Baixa	Média	Baixa
Baixa	Alta	Muito Baixa

FONTE: Produzido pelo Autor (2018)

Cada variável de entrada, *requisitada* e *dificuldade*, é representada por um valor no conjunto *Fuzzy*, após ser calculada segundo sua respectiva função de pertinência. As regras apresentadas na tabela anterior são necessárias para realizar o cálculo do nível de importância da disciplina, por meio da *defuzzificação*. Por fim, o sistema define um valor numérico que é atribuído a cada disciplina e, posteriormente, representado em um intervalo de 0 (zero) a 100 (cem).

A partir da comunicação entre os três módulos apresentados, é possível encontrar todas as disciplinas que determinado aluno pode cursar, verificar a importância de cada uma delas e projetar o nível de dificuldade que o estudante apresenta. Tais informações possibilitam calcular o nível de recomendação que, após a *defuzzificação*, é representado por um valor numérico.

FIGURA 16 – EXEMPLO DO CÁLCULO DA RECOMENDAÇÃO



FONTE: Imagem do autor (2018)

Conforme o exemplo da Figura 16, percebemos um resultado de 65,67% de recomendação obtido a partir de uma *dificuldade* de valor 20 e um fator *requisitada* igual a 5. Ou seja, dados valores numéricos às variáveis de entrada, verifica-se a quais conjuntos *Fuzzy* cada um pertence e, por meio das regras de produção, calcula-se um valor final para a variável de saída.

4.1.2 Extensão do Sistema

Na segunda etapa do desenvolvimento do *software*, definiu-se a necessidade de expandir e modificar o sistema, a fim de apresentar mais informações ao aluno, permitir a possibilidade de uso por qualquer curso e facilitar a manutenção. O sistema Athena passou, então, a mostrar ao estudante algumas informações que o levaram a conceber tal recomendação, conforme a Figura 17.

FIGURA 17 – NÍVEL DE DIFICULDADE E DESEMPENHO DO ALUNO

Percentuais de Aprovação e Médias		
CATEGORIA	% APROVAÇÃO	MÉDIA
COMPUTACAO	100	90
EXATA	100	90
PEDAGOGICA	100	94

Fechar

Dificuldade por Categoria	
CATEGORIA	% DIFICULDADE
COMPUTACAO	6.86
EXATA	6.86
PEDAGOGICA	6.64

Fechar

FONTE: Imagem do autor (2018)

Tais informações contemplam a dificuldade do aluno, o percentual de aprovação e a média aritmética segundo cada categoria do curso. Isso possibilita ao estudante verificar seu atual desempenho e procura justificar o resultado oferecido pelo *software*.

Além disso, o sistema tornou-se capaz de trabalhar com qualquer curso, não necessitando mais que o coordenador de curso acesse o banco de dados diretamente, pois passou a contar com um ambiente novo, doravante denominado Ambiente de Administração (Figura 18). Esse constitui-se de um sistema *Web* voltado à configuração das informações necessárias para se utilizar o *software* sem necessidade de qualquer conhecimento sobre programação.

FIGURA 18 – PÁGINA DE ADMINISTRAÇÃO



PESQUISAR:

Disciplinas ▾

Curso ▾

Inserir Histórico

Listar Discentes

Voltar

Código	Nome	Categoria	Carga Horária	Horários	Ativo	Deletar
DEE045	ALGORITMOS E ESTRUTURA DE DADOS I	COMPUTACAO	90	Horário Segunda 19:00:00 - Segunda 21:00:00 - Quarta 19:00:00 - Quarta 21:00:00 -	Ativada	Deletar
DEE046	ALGORITMOS E ESTRUTURAS DE DADOS II	COMPUTACAO	90	Horário	Ativada	Deletar
DEE047	ALGORITMOS E ESTRUTURAS DE DADOS III	COMPUTACAO	90	Horário	Ativada	Deletar
DEE048	COMPUTADORES E SOCIEDADE	COMPUTACAO	54	Horário Quarta 19:00:00 -	Ativada	Deletar
DSH055	COMUNICAÇÃO EM LÍNGUA BRASILEIRA DE SINAIS - LIBRAS	PEDAGOGICA	36	Horário Terça 19:00:00 -	Ativada	Deletar
DEE058	DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS BASEADOS NA WEB	COMPUTACAO	54	Horário	Ativada	Deletar
PCE021	DIDÁTICA	PEDAGOGICA	36	Horário Quinta 19:00:00 - Quarta 21:00:00 -	Ativada	Deletar
DSH014	DIDÁTICA DE COMPUTAÇÃO	PEDAGOGICA	72	Horário	Ativada	Deletar

FONTE: Imagem do autor (2018)

Para acessar o Ambiente de Administração, apresentado na figura anterior, é necessário cadastrar um usuário para controlar o acesso aos cursos. A fim de oferecer maior eficiência, é possível compartilhar o controle com outros usuários. Além disso, foram implementados os requisitos (Figura 6) relacionados ao ambiente de administração que foram listados na Seção 4. Logo, tornou-se possível o cadastro de cursos, disciplinas e seus respectivos pré-requisitos, dos horários de oferta e outras informações necessárias.

Todas as alterações realizadas no Ambiente de Administração refletem-se nas informações no banco de dados e nos arquivos Prolog e consequentemente na base do Ambiente de Consulta. Desse modo, as disciplinas disponíveis para matrícula serão definidas pelo administrador do curso, impossibilitando a recomendação de disciplinas indisponíveis. Isso se deve ao fato da base de dados ser compartilhada pelos dois ambientes (como já foi visto na Figura 7, p. 40), provendo, assim, resultados atualizados aos alunos que utilizarem o Ambiente de Consulta.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

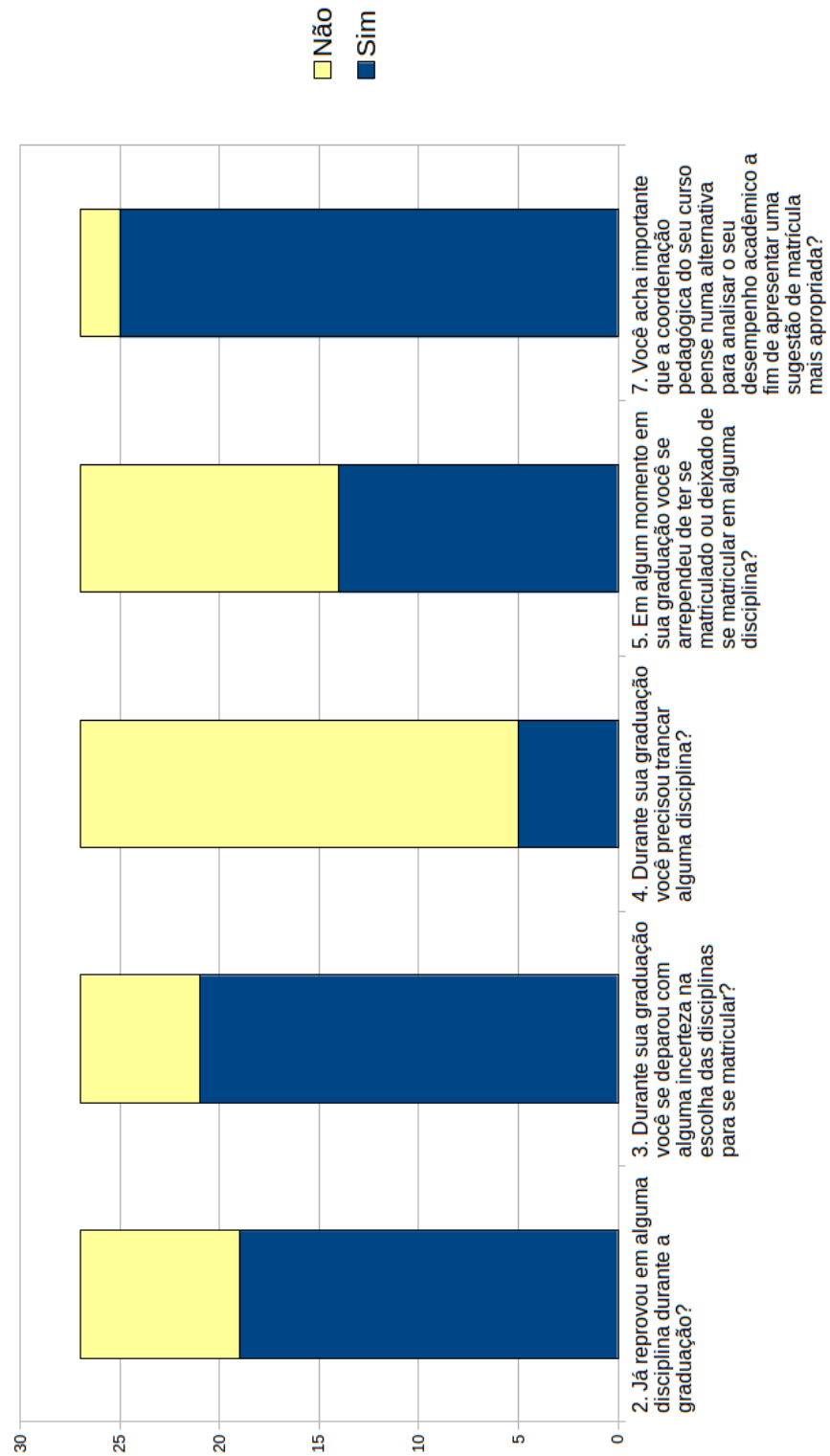
Neste capítulo, são apresentados os resultados de todos os testes realizados, antes e após o desenvolvimento. Foram utilizados questionários específicos para cada uma das três etapas: (i) a análise sobre a dimensão do problema abordado nesta pesquisa, na Seção 5.1; (ii) a verificação da usabilidade e eficácia do sistema desenvolvido, na Seção 5.2; e (iii) a validação do *software* por peritos da área de Computação e Pedagogia e coordenadores de curso, na Seção 5.3. Os instrumentos de avaliação encontram-se no Apêndice A, e seus resultados forneceram subsídios para verificar a relevância, qualidade e usabilidade da solução proposta.

5.1 QUESTIONÁRIO INICIAL

O questionário inicial foi disponibilizado *online* por meio da plataforma Formulários do *Google* e encaminhado para 27 alunos do curso de Medicina Veterinária, sem qualquer identificação dos estudantes. A escolha por este curso foi devido ao maior tempo de existência e a quantidade de alunos matriculados. O questionário foi composto de questões objetivas e discursivas a respeito do processo de rematrícula e do rendimento do próprio estudante.

A primeira questão consistia em uma confirmação do aluno sobre estar ciente da utilização de suas respostas para com esta pesquisa, com a garantia de seu anonimato. Na questão de número dois foi indagado se ele já havia reprovado em alguma disciplina durante a graduação, resultando em 70,4% (19) de respostas afirmativas. Já a terceira objetivou verificar se cada entrevistado havia se deparado com alguma incerteza durante a rematrícula, obtendo-se 77,8% (21) de respostas positivas e, ao analisar o porquê, constatou-se que foi devido ao não conhecimento dos pré-requisitos ou à desperiodização do aluno. A questão seguinte tratava mais especificamente em saber se o aluno trancou alguma disciplina. Relativamente a essa pergunta, somente 18,5% (5) informou que precisou cancelar. Na quinta, foi indagado ao estudante se o mesmo possuía algum arrependimento proveniente de sua escolha na rematrícula, obtendo-se 51,9% (14) de respostas afirmativas (ver gráfico da Figura 19).

FIGURA 19 – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO INICIAL



FONTE: Imagem do autor (2018)

A partir desses dados, é possível averiguar que existe um cenário, na UFPR, em que a maioria dos estudantes apresenta alguma reprovação, dúvidas durante a matrícula e/ou arrependimento quanto a alguma escolha passada. Na sétima e última questão, questionou-se a respeito da importância em se pensar em uma alternativa de auxílio que apresente uma sugestão de matrícula apropriada ao aluno, obtendo-se 92,6% (25) de respostas afirmativas.

Pelo fato da questão de número seis apresentar três alternativas de respostas, não foi possível contemplá-la no gráfico anterior. Nessa, os alunos foram indagados sobre a procura por apoio durante a matrícula, de modo que 37% (10 alunos) alegaram já terem buscado tal auxílio junto à universidade, 44,4% (12 alunos) não procuraram, apesar de possuírem necessidade, e 18,5% (5 alunos) afirmaram não precisar.

Percebe-se, assim, grande aceitação quanto à utilização de algum método de assessoria durante a matrícula e que realmente há a procura por tal auxílio entre os estudantes. O cenário mostrou-se propício ao desenvolvimento de um *software* para apoiar os alunos nessa importante decisão.

5.2 QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO *SOFTWARE*

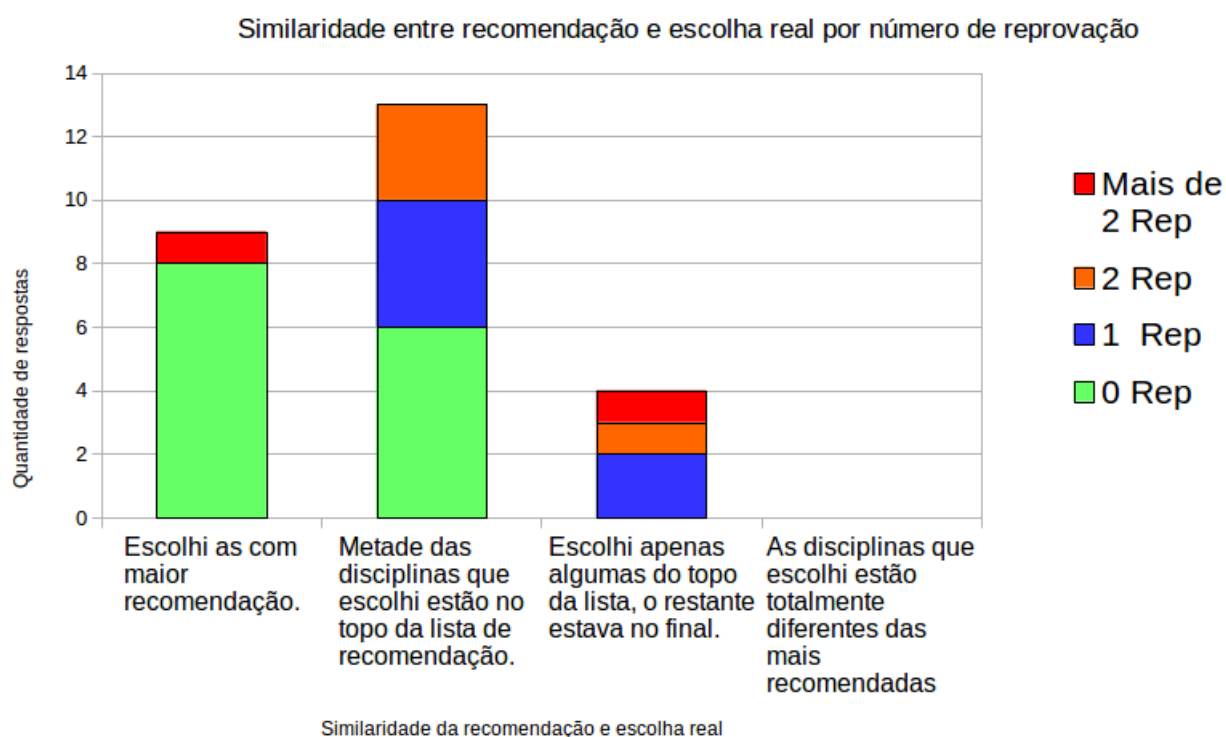
O questionário de avaliação do *software* foi aplicado a 18 alunos do curso de Licenciatura em Computação e 10 do curso de Ciências Biológicas, de diferentes semestres. O teste se tratou de uma simulação, consistindo em analisar a usabilidade do *software* e a qualidade da recomendação. Utilizou-se como estratégia a comparação entre a escolha real do estudante no último semestre concluído (segundo semestre do ano de 2017) e as disciplinas recomendadas pelo sistema Athena.

Por se tratar de um período já concluído pelos alunos, tornou-se possível utilizar suas experiências na presente análise. Verificou-se, então: a similaridade entre a recomendação do sistema e a real escolha dos estudantes; a opinião deles sobre terem ou não se arrependido das disciplinas elencadas; a quantidade de reprovações e desistências; entre outras informações.

A primeira questão buscou analisar a similaridade entre a real escolha do aluno e a recomendação do *software* Athena. Esta é uma informação crucial pois, ao ser analisada junto a outras do questionário, pode-se observar uma correlação entre o desempenho do estudante e a recomendação do *software*. Isto é, se o aluno tiver cursado disciplinas muito semelhantes às apresentadas pelo sistema Athena, é possível, analisando-se suas reprovações ou arrependimentos, verificar a adequação da recomendação. Nas três questões seguintes, observou-se se o entrevistado acreditava ter realizado uma boa escolha, se havia reprovado ou se havia trancado alguma disciplina.

Apoiado nessas informações, são apresentadas as respostas da questão número um, classificando os indivíduos conforme o número de reprovações (ver Figura 20).

FIGURA 20 – SIMILARIDADE DA RECOMENDAÇÃO E ESCOLHA REAL POR NÚMERO DE REPROVAÇÃO



FONTE: Imagem do autor (2018)

Percebeu-se grande similaridade entre as reais escolhas e a recomendação do *software* nos casos em que o estudante não apresenta nenhuma reprovação: oito dos nove entrevistados que afirmaram ter escolhido cursar as disciplinas mais recomendadas pelo sistema não apresentaram nenhuma reprovação ou trancamento. Quatro estudantes declararam ter se matriculado em apenas algumas dessas disciplinas. Destes, a metade alegou uma reprovação, enquanto o restante reprovou em duas ou mais. Entre os treze alunos que afirmaram ter escolhido metade das disciplinas mais recomendadas, seis não reprovaram, quatro exibiram uma reprovação e o restante, duas.

A seguir, o Quadro 1 apresenta o percentual geral de respostas quanto à similaridade entre a real escolha do estudante e a recomendação, divididas segundo a quantidade de reprovação, o que ratifica os dados exibidos anteriormente.

QUADRO 1 – SIMILARIDADE DA RECOMENDAÇÃO E ESCOLHA REAL POR NÚMERO DE REPROVAÇÃO

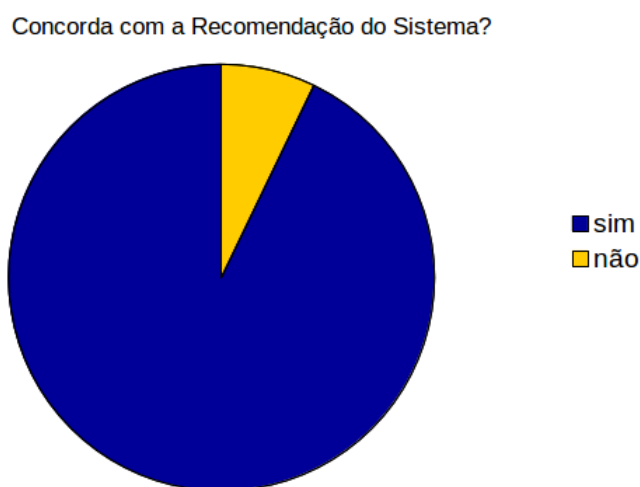
Resposta do aluno	Quantidade de Reprovações				
	Zero	Uma	Duas	Mais de Duas	Total
Escolhi as disciplinas com maior recomendação.	30,77%	0%	0%	3,85%	34,62%
Metade das disciplinas que escolhi estão no topo da lista de recomendação.	23,08%	15,38%	11,54%	0%	50%
Escolhi apenas algumas do topo da lista, o restante estava no final.	0%	7,69%	3,85%	3,85%	15,38%
As disciplinas que escolhi estão totalmente diferentes das mais recomendadas.	0%	0%	0%	0%	0%
Total	53,85%	23,08%	15,38%	7,69%	100%

FONTE: Dados do autor (2018)

Após a análise do quadro anterior, observa-se que há uma possível relação entre o bom rendimento dos alunos no semestre em que ocorreu a simulação e a recomendação do sistema Athena. Analisando o quadro geral, os alunos que não apresentaram reprovação afirmaram ter se matriculado nas disciplinas mais recomendadas (30,77% dos entrevistados - 8 alunos), ou em metade destas (23,08% - 6 alunos). Já os que escolheram apenas algumas das mais recomendadas reprovaram em uma (7,69% - 2 alunos), duas (3,85% - 1 aluno) ou mais (3,85% - 1 aluno) disciplinas. Ressaltando que, de todos os 28 entrevistados, 2 não responderam as questões necessárias para tal análise e, devido a isso, ficaram fora do cálculo. Logo, é possível demonstrar que a semelhança entre a recomendação do *software* e real escolha do estudante é inversamente proporcional à quantidade de reprovações, havendo poucas exceções.

A questão número cinco indagava se o estudante concordava com o número de horas de dedicação semanal sugerida pelo *software*, na qual 27 alunos responderam, apresentando 44,44% (12) de respostas afirmativas e 55,56% (15) de concordância parcial. Já na sexta questão verificou-se se o aluno estava de acordo com a recomendação do sistema, obtendo-se 92,86% (26) de repostas afirmativas (Figura 21).

FIGURA 21 – ANÁLISE DA RECOMENDAÇÃO



FONTE: Imagem do autor (2018)

Posteriormente, na questão de número sete, analisou-se se o estudante concordava que a recomendação poderia tê-lo auxiliado em sua real escolha, interferindo em sua decisão (ver Figura 22). De todos os entrevistados, 26 responderam essa questão.

FIGURA 22 – CONCORDÂNCIA SOBRE A RECOMENDAÇÃO



FONTE: Imagem do autor (2018)

Analisando a figura acima, percebe-se que nenhum entrevistado achou a recomendação ruim, porém 50% (13 alunos) informou que trocaria poucas disciplinas e 38,46% (10 alunos) escolheria um número diferente. Isso significa que a interação com o *software* poderia influenciar na decisão do aluno e, pelo fato deste já ter concluído o semestre em que ocorreu a recomendação, possivelmente tal influência seria favorável.

A oitava questão objetivou averiguar se o estudante estava de acordo com o nível de dificuldade estimado pelo *software* para cada categoria de disciplina do curso. Obteve-se

7,14% (2) de respostas negativas e 42,86% (12) afirmativas. O restante dos alunos concordou parcialmente: 32,14% (9 alunos) afirmou que o índice apresentado estava acima da dificuldade real, enquanto 17,86% (5) declarou estar abaixo. A questão de número nove indagou sobre qual nota, de zero a cem, cada estudante atribuiria ao *layout* e usabilidade, obtendo-se uma média de 85,46.

A décima questão procurou verificar se havia a necessidade de mais informações na lista de recomendação. De todos os entrevistados, 26 responderam a esta pergunta, sendo que 62,96% (17 alunos) afirmaram não haver necessidade enquanto 37,04% (10) afirmaram necessitar. Entre as sugestões, destacam-se a inclusão da ementa da disciplina, agrupar os resultados por semelhança e inserir um recurso visual (“estrelinhas”) para apresentar os níveis de dificuldade. Já a última questão procurou verificar se o resultado apresentado pelo *software* foi de fácil compreensão, resultando em 73,9% (20) de respostas afirmativas e 26,1% (7) de concordância parcial, sendo que um aluno não respondeu.

Sob tais respostas, constata-se que o sistema Athena foi capaz de recomendar disciplinas coerentes, necessitando de ajustes quanto às horas de dedicação extraclasse e o nível de dificuldade apresentado aos alunos.

5.3 VALIDAÇÃO POR PERITOS

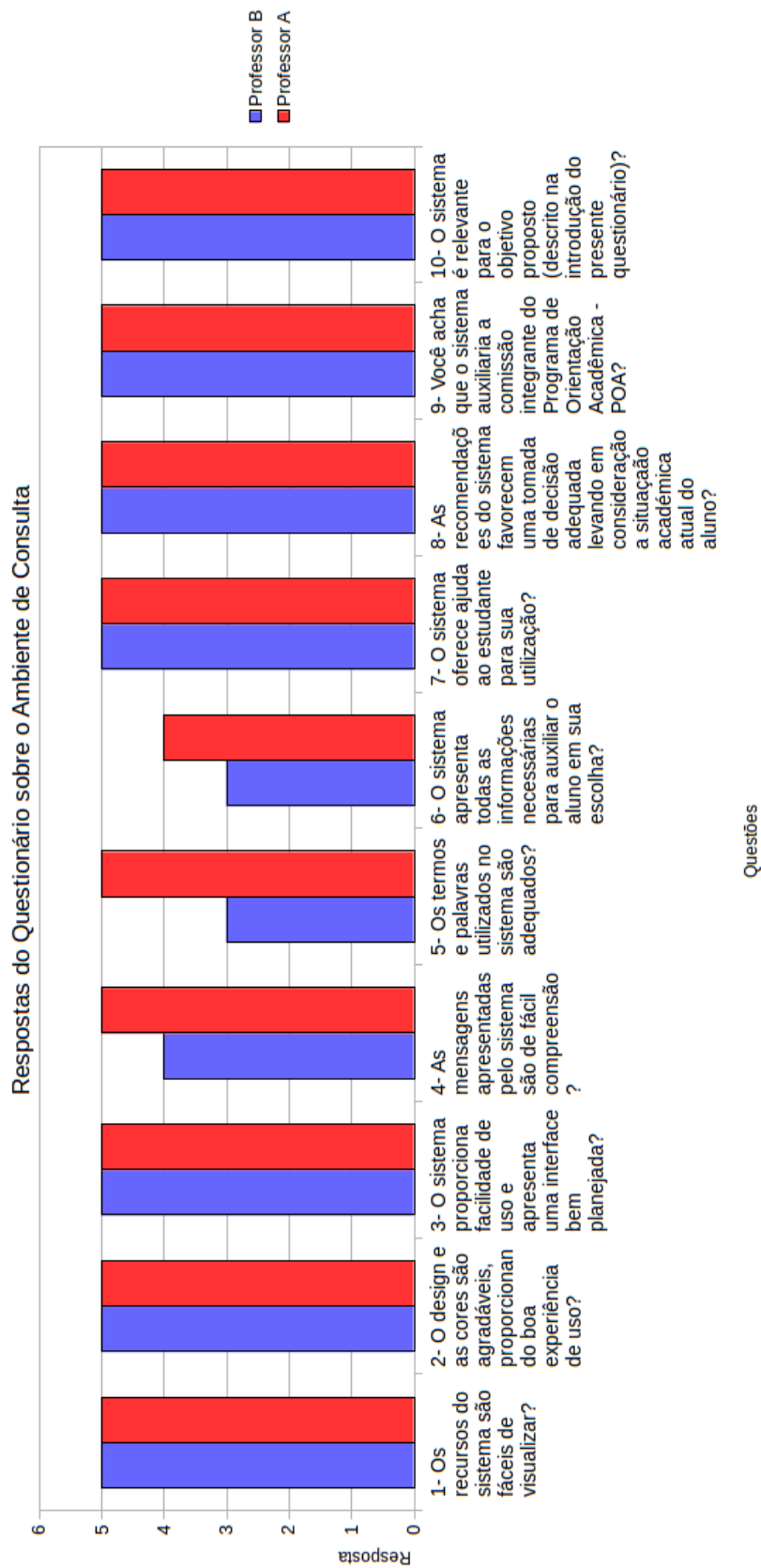
A validação por peritos constituiu-se da última etapa de desenvolvimento do *software* Athena, com o objetivo de avaliar cada um dos ambientes. Para tal, foram elaborados dois questionários (apêndice A.3 e A.4) disponibilizados *online* por meio da ferramenta Formulários do *Google*. O objetivo foi verificar a usabilidade, eficácia e relevância do *software* desenvolvido, sendo o primeiro voltado à avaliação do Ambiente de Consulta e o segundo do Ambiente de Administração. Para responder esses questionários, foram escolhidos três professores da UFPR: um coordenador de curso e especialista de área da Computação (A); uma professora especialista da área de Pedagogia (B); e uma coordenadora de curso (C).

5.3.1 Avaliação do Ambiente de Consulta

O questionário sobre o Ambiente de Consulta foi destinado aos professores A e B, e tinha como propósito avaliar os quesitos de usabilidade e se atingiria o objetivo de oferecer uma recomendação adequada, baseando-se no desempenho dos estudantes e na grade curricular do curso. Sendo assim, os professores testaram o ambiente durante pouco mais de uma semana e, após isso, responderam às questões enviadas.

Na Figura 23, é apresentado um gráfico com as respostas. As questões apresentavam uma escala de concordância, variando de 1 (um) a 5 (cinco), sendo que 1 representa total desacordo e 5, total acordo.

FIGURA 23 – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO SOBRE O AMBIENTE DE CONSULTA



FONTE: Imagem do autor (2018)

As três primeiras questões referem-se à clareza na visualização dos recursos, experiência proporcionada pelo *design* e cores, facilidade de utilização e bom planejamento da interface. Nestes aspectos de usabilidade, o Ambiente de Consulta do sistema Athena obteve conceito máximo em ambas as avaliações.

Ao avaliar a facilidade na compreensão das mensagens apresentadas pelo *software* (questão quatro) foram obtidos conceitos quatro e cinco, enquanto a adequação dos termos e palavras utilizados (questão cinco) foi avaliada com conceito três e cinco. Já na de número seis, que tratava em verificar se o sistema apresentava todas as informações necessárias para auxiliar o aluno em sua escolha, obtivemos notas três e quatro.

Por fim, as demais questões obtiveram notas máximas de ambos os avaliadores. Estas abordavam quesitos como: (i) oferta de ajuda ao estudante; (ii) favorecimento a uma tomada de decisão adequada, considerando a situação acadêmica do aluno; (iii) adequação quanto à integração ao Programa de Orientação Acadêmico (POA); e (iv) relevância para com o objetivo proposto. O conceito geral da avaliação foi de 4,7 de um máximo de 5.

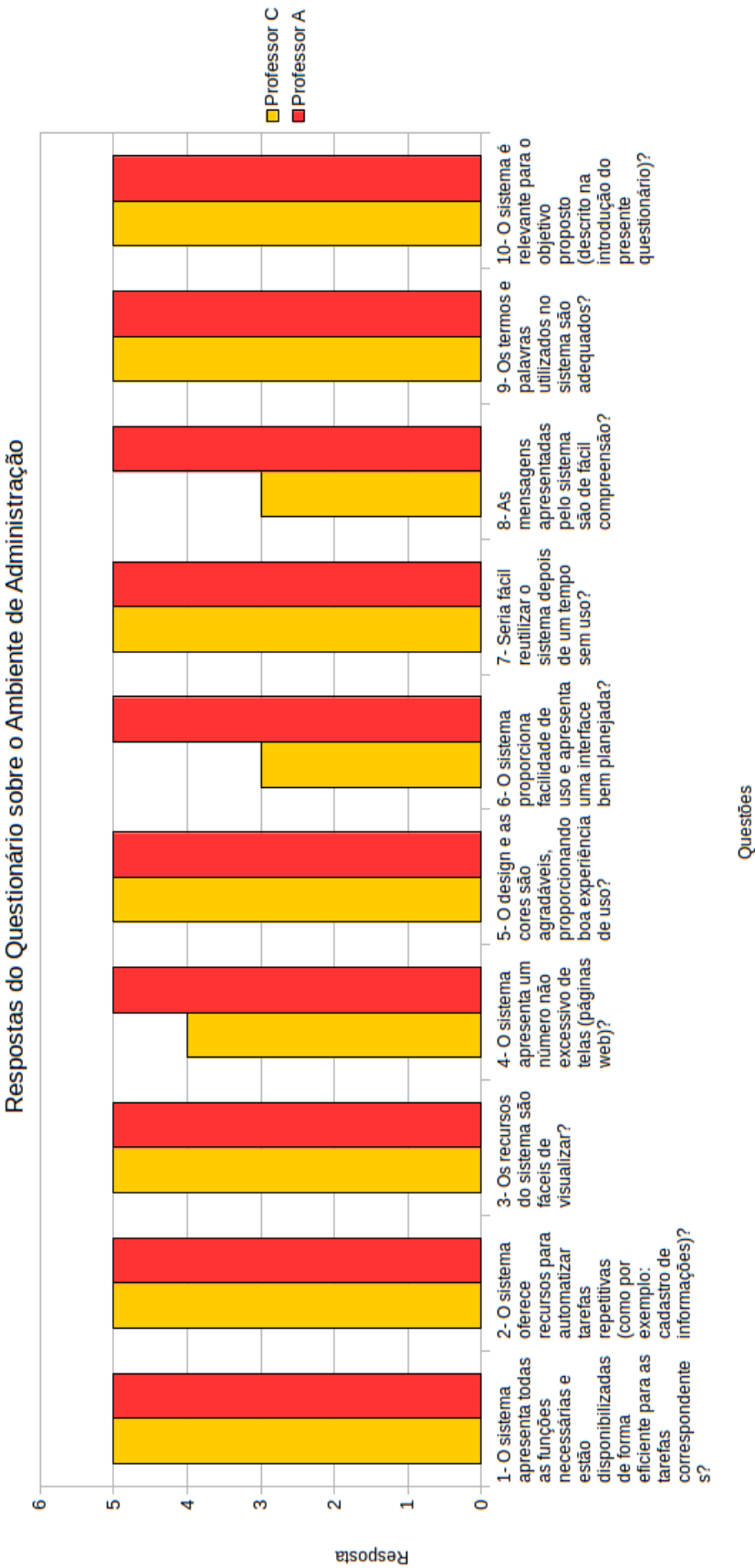
Percebe-se a apreciação por parte dos avaliadores, sendo consensual entre os mesmos a aplicabilidade ao POA da UFPR. Entretanto, constatou-se a necessidade de adequação das informações apresentadas. Por meio de reuniões com os mesmos especialistas, foram propostas algumas sugestões como, por exemplo, anexar a ementa de cada disciplina, utilizar um recurso gráfico diferente para mostrar os horários de oferta e inserir um *link* para o respectivo Projeto Pedagógico de Curso (PPC).

5.3.2 Avaliação do Ambiente de Administração

O questionário sobre o Ambiente de Administração foi destinado aos professores A e C, apresentando como objetivo o cadastro e manutenção de cursos e das disciplinas e seus pré-requisitos, além da importação do histórico. O ambiente também foi utilizado durante pouco mais de uma semana antes de responderem às questões apresentadas.

Sendo assim, na Figura 24, é apresentado um gráfico com as respostas de ambos. O objetivo deste foi averiguar a facilidade no uso e se foram ofertadas todas as funções necessárias. Novamente, cada questão apresentava uma escala de concordância, seguindo os mesmos critérios do questionário anterior.

FIGURA 24 – RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO SOBRE O AMBIENTE DE ADMINISTRAÇÃO



FONTE: Imagem do autor (2018)

De acordo com a figura anterior, as questões que abordaram quesitos de usabilidade do *software* receberam, em sua maioria, conceito máximo de ambos avaliadores (questão um, dois, três, cinco e sete). Já na questão de número quatro, somente um avaliador emitiu conceito máximo e o outro atribuiu conceito quatro. A de número seis recebeu conceito cinco e três, respectivamente. Esses resultados comprovam, de fato, que o *software* apresenta uma interface amigável, sendo de fácil utilização e não necessitando grande proficiência em informática por parte do usuário.

As questões seguintes estavam relacionadas ao conteúdo apresentado pelo *software*. A oitava procurava verificar se as mensagens apresentadas pelo sistema eram de fácil compreensão, recebendo conceito três e cinco, respectivamente. A questão nove indagava sobre a adequação de termos e palavras e a última referia-se à relevância do sistema para com o objetivo proposto, ambas recebendo conceito máximo dos avaliadores.

Tomando como referência todas as notas atribuídas, acredita-se ser prudente calcular a média geral como forma de verificar, na prática, a avaliação do *software* em sua totalidade. De modo geral, a avaliação confirmou a aplicabilidade e adequação do *software* Athena, atendendo à uma série de requisitos de usabilidade e de conteúdo, expresso por meio do conceito 4,75 de um máximo de 5.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados, constatou-se a real existência de dificuldade, por parte dos alunos da Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, no momento da rematrícula. Há grande procura por auxílio durante esse processo, percebendo-se a necessidade de orientação, e ficou evidente a aceitação dos alunos por um sistema que avalie o seu desempenho individualmente a fim de apresentar uma sugestão personalizada. Dentre os obstáculos perceptíveis por parte dos estudantes, destacam-se o não conhecimento dos pré-requisitos das disciplinas ofertadas e a difícil análise de seu próprio rendimento.

A partir do questionário de avaliação, foi perceptível a adequação dos resultados conforme o perfil de cada aluno, uma vez que houve relação entre seu desempenho, no dado semestre, e a similaridade entre sua real escolha e recomendação do sistema. Quanto mais semelhante foi a escolha do estudante com as disciplinas recomendadas, menor foi sua reprovação.

O questionário permitiu aos alunos a reflexão sobre seu desempenho real em um semestre já cursado, o que lhes possibilitou avaliar a relevância do sistema Athena, caso fosse utilizado antes da rematrícula. Como já foi visto, a grande maioria dos estudantes afirmou que realizaria alguma mudança na escolha, conforme a recomendação do *software*. Sendo assim, a Lógica *Fuzzy* se mostrou adequada e sua codificação não é complexa. A técnica permitiu, também, mensurar conceitos como a dificuldade e importância, traduzindo-os a valores numéricos, a fim de realizar uma análise de perfil, o que possibilitou a recomendação personalizada.

Os Ambientes de Consulta e de Administração obtiveram nota máxima quanto à relevância para com o objetivo proposto na avaliação dos especialistas. Entretanto, há a necessidade de inclusão de informações no primeiro, destinado ao aluno, e adequações quanto à usabilidade no segundo. Além disso, como estudo futuro seria interessante empregar o *software* Athena em outras instituições, verificando sua aplicação e desempenho. Por fim, espera-se que a utilização do sistema subsidie a escolha dos estudantes durante a rematrícula, contribuindo para um melhor desempenho e diminuição nas reprovações. A estrutura do sistema Athena foi desenvolvida para garantir adequação a diferentes instituições, e seu código fonte ficará disponível¹ para a comunidade.

¹Disponível em: <<https://github.com/danielkarling3/Athena>>

REFERÊNCIAS

- ABEL, M.; CASTILHO, J. M. **Um estudo sobre raciocínio baseado em casos**. [S.l.], 1996. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 19.
- ANDERSON, T.; SHATTUCK, J. Design-based research: A decade of progress in education research? **Educational researcher**, v. 41, n. 1, p. 16–25, 2012. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3102/0013189x11428813>>. Acesso em: Jan. 2018. Citado na página 33.
- AUSUBEL, D. G. Cognitive structure and the facilitation of meaningful verbal learning1. **Journal of teacher education**, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 14, n. 2, p. 217–222, 1963. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/002248716301400220>>. Acesso em: Ago. 2017. Citado na página 19.
- AUSUBEL, D. P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. **Lisboa: Plátano**, v. 1, 2003. Disponível em: <<http://files.mestrado-em-ensino-de-ciencias.webnode.com/200000007-610f46208a/ausebel.pdf>>. Acesso em: Set. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- BARAB, S.; SQUIRE, K. Design-based research: Putting a stake in the ground. **The journal of the learning sciences**, Taylor & Francis, v. 13, n. 1, p. 1–14, 2004. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327809jls1301_1?journalCode=hlms20>. Acesso em: Jan. 2018. Citado na página 33.
- BARLYBAYEV, A.; SHARIPBAY, A.; ULYUKOVA, G.; SBYROV, T.; KUZENBAYEV, B. Student's performance evaluation by fuzzy logic. **Procedia Computer Science**, Elsevier, v. 102, p. 98–105, 2016. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S1877050916325558/1-s2.0-S1877050916325558-main.pdf?_tid=08aaf4c0-338c-49ae-afd9-b9df2d0947a0&acdnat=1526826336_44ccfed73ee60f4d11269d04209e1bb8>. Acesso em: Set. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.
- BISWAS, R. An application of fuzzy sets in students' evaluation. **Fuzzy sets and systems**, Elsevier, v. 74, n. 2, p. 187–194, 1995. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/016501149500063Q/1-s2.0-016501149500063Q-main.pdf?_tid=990cfd78-bf39-46d1-85ba-bc0df5f9e162&acdnat=1526826267_3e598cb8fbb2d03259557e8cc5f4ee23>. Acesso em: Set. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.
- BITTENCOURT, I. M.; MERCADO, L. P. L. Evasão nos cursos na modalidade de educação a distância: estudo de caso do curso piloto de administração da ufal/uab. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, Fundação Cesgranrio, v. 22, n. 83, 2014. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/3995/399534054009/>>. Acesso em: Nov. 2017. Citado na página 16.
- BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **UML: guia do usuário**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2006. Citado na página 40.
- BUCHANAN, B. G.; BARSTOW, D.; BECHTAL, R.; BENNETT, J.; CLANCEY, W.; KULIKOWSKI, C.; MITCHELL, T.; WATERMAN, D. A. Constructing an expert system. **Building expert systems**, Addison-Wesley Reading, MA, v. 50, p. 127–167, 1983. Citado na página 22.

CAZELLA, S. C.; NUNES, M.; REATEGUI, E. A ciência da opinião: Estado da arte em sistemas de recomendação. **André Ponce de Leon F. de Carvalho; Tomasz Kowaltowski..(Org.). Jornada de Atualização de Informática-JAI**, p. 161–216, 2010. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46764835/A_Cincia_da_Opinio_Estado_da_arte_em_Sis20160624-9316-ts71or.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1526830959&Signature=s8B%2BTJc4Yuce9MaJVrkQwA5ThSE%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DA_Ciencia_da_Opiniao_Estado_da_arte_em_S.pdf>. Acesso em: Set. 2017. Citado na página 19.

CHEN, S. M.; LEE, C. H. New methods for students' evaluation using fuzzy sets. **Fuzzy sets and systems**, Elsevier, v. 104, n. 2, p. 209–218, 1999. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016501149700208X>>. Acesso em: Fev. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.

COUTINHO, C. P.; CHAVES, J. H. Investigação em tecnologia educativa na universidade do minho: uma abordagem temática e metodológica às dissertações concluídas nos cursos de mestrado em educação. 2000. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7365/1/Texto%20Com%20Lx%20Nov%202.pdf>>. Acesso em: Ago. 2017. Citado na página 33.

COX, E. **The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner's Guide to Building, Using, Maintaining Fuzzy Systems**. Boston: Ap Professional, 1994. Citado na página 22.

CUNHA, A. M.; TUNES, E.; SILVA, R. R. d. Evasão do curso de química da universidade de Brasília: a interpretação do aluno evadido. **SciELO Brasil**, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v24n2/4291.pdf>>. Acesso em: Nov. 2017. Citado na página 16.

DRUMOND, L. R.; LINDOSO, A. N.; GIRARDI, R. Infonorma: Um sistema de recomendação baseado em tecnologias da web semantica. **INFOCOMP**, v. 5, n. 4, p. 93–100, 2006. Disponível em: <<http://infocomp.dcc.ufla.br/index.php/INFOCOMP/article/view/158>>. Acesso em: Ago. 2017. Citado na página 18.

DRUZDZEL, M. J.; FLYNN, R. R. Decision support systems. encyclopedia of library and information science. a. kent. **Marcel Dekker, Inc. Last Login**, v. 10, n. 03, p. 2010, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 18.

FARIA, W. d. **Aprendizagem e planejamento de ensino**. São Paulo: Ática, 1989. Citado na página 20.

FILHO, R. L. L. S.; MOTEJUNAS, P. R.; HIPÓLITO, O.; LOBO, M. B. C. M. A evasão no ensino superior brasileiro. **Cadernos de pesquisa**, SciELO Brasil, v. 37, n. 132, p. 641–659, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.

FOLGER, R.; KONOVSKEY, M. A.; CROPANZANO, R. et al. A due process metaphor for performance appraisal. **Research in organizational behavior**, JAI PRESS LTD, v. 14, p. 129–129, 1992. Disponível em: <<http://www.critical911.com/documents/pa-apco2011/Folger-et-al-1992.pdf>>. Acesso em: Set. 2017. Citado na página 32.

GONÇALVES, A. P. Aplicação de lógica fuzzy em guerra eletrônica. **Instituto Tecnológico da Aeronáutica**, 2007. Citado na página 20.

LAW, C. K. Using fuzzy numbers in educational grading system. **Fuzzy sets and systems**, Elsevier, v. 83, n. 3, p. 311–323, 1996. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0165011495002987>>. Acesso em: Fev. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.

MALVEZZI, W. R.; MOURÃO, A. B.; BRESSAN, G. Uma ferramenta baseada em teoria fuzzy para o acompanhamento de alunos aplicado ao modelo de educação presencial mediado por tecnologia. In: **Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)**. [s.n.], 2010. v. 1, n. 1. Disponível em: <<http://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/1445/1210>>. Acesso em: Set. 2017. Citado na página 30.

MCCARTHY, P. M.; KEEFE, T. J. A measure of staff perceptions of quality-oriented organizational performance: initial development and internal consistency. **Journal of Quality Management**, Elsevier, v. 4, n. 2, p. 185–206, 1999. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084856899000127>>. Acesso em: Ago. 2017. Citado na página 32.

MCKENNEY, S.; REEVES, T. **Conducting educational design research**. 2011. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=CpcnCEQIfL0C&oi=fnd&pg=PR3&dq=MCKENNEY,+S.%3B+REEVES,+T.+Conducting+educational+design+research.+2011.&ots=5OW9HPQ-ws&sig=q84GvWAYMxNUQWJQS3XZqlvXAlw#v=onepage&q=MCKENNEY%2C%20S.%3B%20REEVES%2C%20T.%20Conducting%20educational%20design%20research.%202011.&f=false>>. Acesso em: Ago. 2017. Citado na página 33.

MERRITT, D. **Building Expert Systems in Prolog, Amzi**. [S.l.]: Inc, 2000. Citado na página 23.

MOROSINI, M. C.; CASARTELLI, A. de O.; SILVA, A. C. B. da; SANTOS, B. S. dos; SCHMITT, R. E.; GESSINGER, R. M. A evasão na educação superior no brasil: uma análise da produção de conhecimento nos periódicos qualis entre 2000-2011. In: **Congressos CLABES**. [s.n.], 2011. Disponível em: <<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/clabes/article/view/848>>. Acesso em: Nov. 2017. Citado na página 16.

NOLAN, J. R. An expert fuzzy classification system for supporting the grading of student writing samples. **Expert Systems with Applications**, Elsevier, v. 15, n. 1, p. 59–68, 1998. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0957417498000116/1-s2.0-S0957417498000116-main.pdf?_tid=7506185b-cec6-4b2a-9ec1-e73c97f189d6&acdnat=1526826150_16622a25e9f7c78080ba0a8bd9ad9337>. Acesso em: Ago. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.

OLIVEIRA, F. C.; SILVA, M. F. d. Lógica fuzzy: uma ferramenta para auxílio à tomada de decisão com relação a fatores que interferem no rendimento escolar. 2014. Disponível em: <http://ri.unir.br/jspui/bitstream/123456789/1222/1/Francenildo%20C.%20Oliveira_L%20c3%b3gica%20Fuzzy.pdf>. Acesso em: Set. 2017. Citado na página 27.

PRAIA, J. F. Aprendizagem significativa em d. ausubel: contributos para uma adequada visão da sua teoria e incidências no ensino. **Teoria da aprendizagem significativa. Peniche, Portugal**, p. 121–134, 2000. Disponível em: <<https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/1320/1/Livro%20Peniche.pdf#page=122>>. Acesso em: Ago. 2017. Citado na página 20.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software**. Makron books Sao Paulo, 1995. v. 6. Disponível em: <http://www.vqv.com.br/es/ES_JE01d_Pressman.pdf>. Acesso em: Out. 2017. Citado na página 34.

RESNICK, P.; VARIAN, H. R. Recommender systems. **Communications of the ACM**, ACM, v. 40, n. 3, p. 56–58, 1997. Disponível em: <http://delivery.acm.org/10.1145/250000/245121/p56-resnick.pdf?ip=200.144.93.190&id=245121&acc=ACTIVE%20SERVICE&key=344E943C9DC262BB%2EBABE52E4CABFF94E%2E4D4702B0C3E38B35%2E4D4702B0C3E38B35&__acm__=1526827918_51aa7c0b9eed78e368358c2be57fe889>. Acesso em: Ago. 2017. Citado na página 19.

RIEDER, R.; BRANCHER, J. D. Aplicação da lógica fuzzy a jogos didáticos de computador-a experiência do mercadão gl. In: **Congresso Iberoamericano de Informática Educativa**. [s.n.], 2004. v. 7, p. 127–136. Disponível em: <<http://www.niee.ufrgs.br/eventos/RIBIE/2004/comunicacao/com127-136.pdf>>. Acesso em: Mar. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.

RISSOLI, V. R. V.; GIRAFFA, L. M. M.; MARTINS, J. de P. Sistema tutor inteligente baseado na teoria da aprendizagem significativa com acompanhamento fuzzy. **Informática na educação: teoria & prática**, v. 9, n. 2, 2008. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/InfEducTeoriaPratica/article/view/2397>>. Acesso em: Fev. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

SALEH, I.; KIM, S. I. A fuzzy system for evaluating students' learning achievement. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 3, Part 2, p. 6236–6243, 2009. ISSN 0957-4174. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417408004661>>. Acesso em: Fev. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.

SAMUEL, O. W.; OMISORE, M. O.; ATAJEROMAVWO, E. J. Online fuzzy based decision support system for human resource performance appraisal. **Measurement**, Elsevier, v. 55, p. 452–461, 2014. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0263224114002450/1-s2.0-S0263224114002450-main.pdf?_tid=5755f1a3-78fb-49ad-a679-945f788f4414&acdnat=1526826017_1c6948b1c27649b73e1226d799f591ef>. Acesso em: Ago. 2017. Citado na página 32.

SAMUEL, O. W.; OMISORE, M. O.; OJOKOH, B. A web based decision support system driven by fuzzy logic for the diagnosis of typhoid fever. **Expert Systems with Applications**, Elsevier, v. 40, n. 10, p. 4164–4171, 2013. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0957417413000432/1-s2.0-S0957417413000432-main.pdf?_tid=e0d725cc-6e66-4640-8c2a-b7d380a79902&acdnat=1526826091_e1627012b449ddc47ecdf621f08f58bc>. Acesso em: Ago. 2017. Citado na página 32.

SCHAFER, J. B.; KONSTAN, J.; RIEDL, J. Recommender systems in e-commerce. In: **ACM. Proceedings of the 1st ACM conference on Electronic commerce**. 1999. p. 158–166. Disponível em: <http://delivery.acm.org/10.1145/340000/337035/p158-schafer.pdf?ip=200.144.93.190&id=337035&acc=PUBLIC&key=344E943C9DC262BB%2EBABE52E4CABFF94E%2E4D4702B0C3E38B35%2E4D4702B0C3E38B35&__acm__=1526827981_39f1edc5a50d8d0cb0ea3c38469d2a7d>. Acesso em: Ago. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 18.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa. **Revista conceitos**, v. 55, n. 10, 2004. Disponível em: <<http://www.fisica.ufpb.br/~Romero/objetosaprendizagem/Rived/Artigos/2004-RevistaConceitos.pdf>>. Acesso em: Set. 2017. Citado na página 20.

TINTO, V. Dropout from higher education: A theoretical synthesis of recent research. **Review of educational research**, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 45, n. 1, p. 89–125, 1975. Citado na página 16.

UFPR. **Orientação Acadêmica**. [S.l.], 2016. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~marcosantonio/coordenacao/rPOA.pdf>>. Acesso em: Mai. 2018. Citado na página 16.

UFPR. **Programa de Orientação Acadêmica – POA**. s/d. Disponível em: <<http://www.palotina.ufpr.br/portal/programa-de-orientacao-academica-poa/>>. Acesso em: Mai. 2018. Citado na página 16.

VICCARI, R. **Um Tutor Inteligente para a programação em Lógica**: Idealização, projeto e desenvolvimento. Tese (Doutorado) — Universidade de Coimbra, 1990. Citado na página 28.

WANG, F.; HANNAFIN, M. J. Design-based research and technology-enhanced learning environments. **Educational technology research and development**, Springer, v. 53, n. 4, p. 5–23, 2005. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02504682>>. Acesso em: Jan. 2018. Citado na página 33.

ZADEH, L. A. Information and control. In: **Fuzzy sets**. [S.l.]: Elsevier, 1965. v. 8, n. 3, p. 338–353. Citado na página 22.

ZADEH, L. A. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. **Fuzzy sets and systems**, Elsevier, v. 90, n. 2, p. 111–127, 1997. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0165011497000778/1-s2.0-S0165011497000778-main.pdf?_tid=63e2d491-db69-42e7-9b6f-d372168a58a6&acdnat=1526826814_3873a2311c04756fc57fbb33324ef7c9>. Acesso em: Set. 2017. Citado na página 20.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS

A.1 Questionário Inicial: Matrículas na Universidade

Prezados alunos, Sou aluno do Curso de Licenciatura em Computação e estou realizando uma pesquisa no âmbito do Trabalho de Conclusão de Curso -TCC que tem como objetivo utilizar a lógica Fuzzy como técnica de inteligência Artificial no desenvolvimento de um sistema especialista que opere como apoio à decisão no processo de matrícula dos alunos respeitando os critérios estabelecidos pelo curso bem como a situação acadêmica que os mesmos de encontram. Dessa forma sentimos a necessidade de auscultar o que pensa sobre o processo de matrícula que é realizado atualmente no seu curso. Os dados obtidos são confidenciais e apenas usados para fins de pesquisa. Desde já agradeço vossa colaboração, pois sem ela esse projeto não seria possível

1. Autorizo que, para efeitos de pesquisa, sejam usadas as informações desse questionário pelo pesquisador Daniel Antonio Karling (danielantoniokarling3@gmail.com) no âmbito do seu Trabalho de Conclusão de Curso- TCC, intitulado "Sistema de apoio à decisão para matrículas utilizando o método Fuzzy"

- Sim
- Não

2. Já reprovou em alguma disciplina durante a graduação?

- Sim
- Não
- Prefiro não informar

3. Durante sua graduação você se deparou com alguma incerteza na escolha das disciplinas para se matricular?

- Sim
- Não

Em caso afirmativo, comente:

4. Durante sua graduação você precisou trancar alguma disciplina?

- Sim
- Não

Em caso afirmativo, cite o motivo.

5. Em algum momento em sua graduação você se arrependeu de ter se matriculado ou deixado de se matricular em alguma disciplina?

- Sim
- Não

Se respondeu sim, comente.

6. Já procurou apoio junto à Universidade na escolha das disciplinas que deveria se matricu-

lar?

- Sim
 - Não, pois não senti necessidade de apoio
 - Não, mas senti necessidade de apoio
7. Você acha importante que a coordenação pedagógica do seu curso pense numa alternativa para analisar o seu desempenho acadêmico a fim de apresentar uma sugestão de matrícula mais apropriada?
- Sim
 - Não

A.2 Questionário de Avaliação do *software*

Prezados, o software Athena: Sistema para Recomendação de Disciplinas faz parte de uma pesquisa de nível de TCC do curso de Licenciatura em Computação, cujo objetivo é auxiliar o aluno durante a escolha das disciplinas para rematrícula semestral apresentando uma recomendação personalizada. O sistema analisa a grade curricular do curso, seguindo uma lista de pré-requisitos teóricos (que não existem, na prática, no presente curso) e o desempenho do estudante a partir do seu histórico acadêmico. O presente questionário tem objetivo de avaliar a recomendação do sistema Athena utilizando-se dados reais de alunos do curso de Licenciatura em Computação e Ciências Biológicas, de qualquer período. Todos os dados obtidos são confidenciais e utilizados apenas para fins de pesquisa.

() Eu concordo e autorizo a utilização deste questionário para fins de pesquisa.

Compare suas escolhas referente a matrícula do semestre passado (segundo semestre de 2017) com a recomendação dada pelo sistema e responda (Lembrando que o sistema segue os pré-requisitos teóricos do curso):

1. Você escolheu cursar as disciplinas que o sistema oferece maior recomendação?
 - Sim, escolhi as com maior recomendação.
 - Sim, porém em parte: metade das disciplina que escolhi estão no topo da lista de recomendação.
 - Não, escolhi apenas algumas do topo da lista de recomendação, e o restante estava ao final.
 - Não, as disciplinas que escolhi estão totalmente diferentes das mais recomendadas pelo sistema.
2. Você acredita que fez uma boa escolha ao elencar as disciplinas do semestre passado?
 - Sim
 - Em parte
 - Não
3. Você reprovou em quantas disciplina no semestre passado?
 - Zero
 - Uma
 - Duas
 - Mais que duas
4. Você trancou quantas disciplinas no semestre passado?
 - Zero
 - Uma
 - Duas
 - Mais que duas
5. Você concorda com o número de horas de dedicação semanal?
 - Sim
 - Em parte

- Não

6. Você concorda com a recomendação do sistema?

- Sim
- Não

Independentemente de sua afirmação, justifique brevemente:

7. Você acredita que lista de recomendação apresentada o ajudaria na escolha das disciplinas?

- Sim, eu trocaria quase todas minhas disciplinas.
- Sim, eu escolheria um número diferente de disciplinas.
- Em parte, eu trocaria poucas disciplinas.
- Não, mas não parece uma recomendação ruim.
- Não, e a recomendação do sistema parece ruim.

Verifique o nível de dificuldade em cada esfera do curso e responda:

8. Você acredita que a porcentagem condiz com sua dificuldade?

- Sim, completamente.
- Em parte, creio que alguma(s) estão acima de minha dificuldade.
- Em parte, creio que alguma(s) estão abaixo de minha dificuldade.
- Não, estão totalmente em desacordo com minha dificuldade.

Verifique o layout e funcionalidade do sistema, respondendo:

9. Qual a nota que você atribuiria ao layout e usabilidade (de 0 à 100)?

10. Você acha que necessita de mais informações na lista de recomendação?

- Não.
- Sim, complementemente:

11. O resultado obtido pela consulta foi de fácil compreensão?

- Sim
- Em parte, complementemente:
- Não, complementemente:

A.3 Avaliação dos Especialistas: Ambiente de Consulta

Prezados,

O questionário presente faz parte de um programa de nível de TCC do curso de Licenciatura em Computação da UFPR - Setor Palotina. Neste trabalho foi investigado o problema da escolha de disciplinas, pelos discentes, na etapa da rematrícula e a necessidade de orientação acadêmica. A partir disso, foi desenvolvida uma solução computacional para recomendação de disciplinas denominada Athena, com a finalidade de auxiliar na rematrícula dos alunos de graduação, oferecendo uma recomendação personalizada com base no desempenho e na grade curricular do curso. Conta com dois ambientes, que são: i) o Ambiente de Consulta, destinado ao estudante; e ii) o Ambiente de Administração, destinado ao coordenador de curso.

O referido instrumento tem a finalidade de avaliar a usabilidade e relevância na utilização do Ambiente de Consulta, cujo propósito é analisar o desempenho do aluno no curso, bem como verificar a relevância de cada disciplina e seus pré-requisitos, a fim de oferecer um nível de recomendação para cada opção.

Desde já agradecemos a sua colaboração em responder as questões.

Responda assinalando uma opção na escala de 1 à 5, de modo que, 1 represente total desacordo, 3 represente um meio termo e 5 total acordo.

1. Os recursos do sistema são fáceis de visualizar?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

2. O design e as cores são agradáveis, proporcionando boa experiência de uso?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

3. O sistema proporciona facilidade de uso e apresenta uma interface bem planejada?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

4. As mensagens apresentadas pelo sistema são de fácil compreensão?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

5. Os termos e palavras utilizados no sistema são adequados?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

6. O sistema apresenta todas as informações necessárias para auxiliar o aluno em sua escolha?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

7. O sistema oferece ajuda ao estudante para sua utilização?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

8. As recomendações do sistema favorecem uma tomada de decisão adequada levando em consideração a situação acadêmica atual do aluno?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

9. Você acha que o sistema auxiliaria a comissão integrante do Programa de Orientação Acadêmica - POA?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

10. O sistema é relevante para o objetivo proposto (descrito na introdução do presente questionário)?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

A.4 Avaliação dos Especialistas: Ambiente de Administração

Prezados,

O questionário presente faz parte de um programa de nível de TCC do curso de Licenciatura em Computação da UFPR - Setor Palotina. Neste trabalho foi investigado o problema da escolha de disciplinas, pelos discentes, na etapa da rematrícula e a necessidade de orientação acadêmica. A partir disso, foi desenvolvida uma solução computacional para recomendação de disciplinas denominada Athena, com a finalidade de auxiliar na rematrícula dos alunos de graduação, oferecendo uma recomendação personalizada com base no desempenho e na grade curricular do curso. Conta com dois ambientes, que são: i) o Ambiente de Consulta, destinado ao estudante; e ii) o Ambiente de Administração, destinado ao coordenador de curso.

O referido instrumento tem a finalidade de avaliar a usabilidade e relevância na utilização do Ambiente de Administração, cujo propósito é possibilitar o cadastro e manutenção de cursos, bem como o cadastro das disciplinas, respeitando seus pré-requisitos, e a importação do histórico acadêmico dos alunos.

Desde já agradecemos a sua colaboração em responder as questões.

Responda assinalando uma opção na escala de 1 à 5, de modo que, 1 represente total desacordo, 3 represente um meio termo e 5 total acordo.

1. O sistema apresenta todas as funções necessárias e estão disponibilizadas de forma eficiente para as tarefas correspondentes?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

2. O sistema oferece recursos para automatizar tarefas repetitivas (como por exemplo: cadastro de informações)?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

3. Os recursos do sistema são fáceis de visualizar?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

4. O sistema apresenta um número não excessivo de telas (páginas web)?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

5. O design e as cores são agradáveis, proporcionando boa experiência de uso?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

6. O sistema proporciona facilidade de uso e apresenta uma interface bem planejada?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

7. Seria fácil reutilizar o sistema depois de um tempo sem uso?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

8. As mensagens apresentadas pelo sistema são de fácil compreensão?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

9. Os termos e palavras utilizados no sistema são adequados?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

10. O sistema é relevante para o objetivo proposto (descrito na introdução do presente questionário)?

	1	2	3	4	5	
Discordo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo